

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD**

**PROYECTO APLICADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**Manual De Atención Ambiental Para Aguas En Las Coberturas De Los Túneles Medianos  
Y Cortos, En Los Proyectos De Infraestructura Vial**

**Harold Buitrago Tovar**

**Código: 80882483**

**Asesor Del Trabajo**

**Daniel Enrique Mejía Caceres**

**Villavicencio, mayo de 2017**

**Tipo de Documento:** Proyecto Aplicado Para Optar Al Título De Ingeniero Ambiental

**Autor:** Harold Buitrago Tovar

**Palabras Claves:** Atención ambiental, abatimiento hídrico, túneles medianos y cortos, sistemas lóticos y lénticos, atención ambiental.

**Descripción:** Este documento constituye un ejercicio investigativo, mediante la modalidad de Proyecto Aplicado, que ofrece una ayuda a los profesionales que se enfrentan a los eventos de abatimiento de agua, en la construcción de infraestructura vial. Teniendo en cuenta, que el desarrollo de los manuales contribuye a que los proyectos fortalezcan los conocimientos especialmente con los que representan protección y sostenibilidad a los componentes ambientales, más cuando no existe literatura asequible de consulta para las situaciones generadas por la excavación de túneles.

La proyección y construcción de vías nacionales, es ahora una realidad creciente en el ámbito ambiental, haciendo necesario la integración de experiencias de las firmas consultoras y constructoras, para desarrollar guías enfocadas a mejorar la atención a ecosistemas y la comunidad con posibilidad de afectación.

Es así, que se espera lograr beneficios al implementar este manual en las organizaciones dados en: Protección a los recursos naturales, atención correcta de los eventos ambientales generados por los proyectos, mejoramiento de relaciones con la comunidad y cumplimiento normativo, además de evitar sanciones por parte de las autoridades competentes.

Igualmente, con el desarrollo de este manual se proponen llevar a la práctica algunos conceptos inexplorados, dando estructura y ampliando la visión para este tipo de situaciones, apropiando características de los proyectos que en el país se desarrollan actualmente.

Finalmente, se espera que el resultado no solo sea un manual, sino que este proyecto multiplique el conocimiento y ofrezca en una guía para la adopción del manejo de las herramientas con que los profesionales cuentan, al igual que una ayuda para los constructores de los nuevos proyectos de infraestructura en el país.

**Fuentes:** Proyecto Vial Segunda Calzada Bogotá – Villavicencio. Coviandes S.A, Diciembre de 2014, Unión Temporal Conambiente – Medio Natural. Estudio de caracterización de las condiciones hidrológicas y el uso del agua - Unidad Montañosa Intervenida con la Construcción del Túnel 6A del Sector 2A.

Villavicencio, B., Edl, C., Cei, L., Enrique, S. A., & Lozano, D. (2007). Diseños detallados (fase III) para el mejoramiento de los Sectores: El tablón-Puente Téllez, Puente Quetame, Quebrada Naranjal-Quebrada Blanca y Guayabetal, de la carretera Bogotá-Villavicencio. (C. E. D. L. Ltda, Ed.). BOGOTÁ D.C: Septiembre 2007.

CAMACHO, Sindy Lorena. Identificación, Evaluación y Medidas de Manejo para los impactos ambientales generados sobre el recurso hídrico subterráneo por la construcción de túneles. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia, 2013

AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES-ANLA. Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos que requieren licencia ambiental. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Colombia, 2013.

HERRERA, Rafael. Informe Consolidado de la aguas subterráneas, subsuperficiales y Superficiales, asociado a las obras de excavación de los túneles 1, 2, 3, 3A, 4 y 5 Sectores 1, 1A y 2. UT Medio Natural S.A.S.-CONAMBIENTE S.A.S. Colombia, 2015.

**Contenido:** - Relación de procedimientos en atención ambiental identificados para la Segunda Calzada Bogotá-Villavicencio / tercio medio.

- Documentación de aforos y actividades, evidenciando las metodologías contextualizadas.
- Exploración de alternativas para atención en abatimiento de agua, en los túneles medianos y cortos.

**Metodología:**

- Documentar los procedimientos de atención ambiental ejecutados en el proyecto Segunda Calzada Bogotá-Villavicencio, concernientes a la probabilidad de abatimiento del agua en la cobertura de los túneles medianos y cortos.

- Documentar las actividades de campo, instrumentos, y cálculo para medir caudales, contextualizando las condiciones y características de los cuerpos hídricos que mantienen bajo flujo o lenticos.
- Describir alternativas de atención para la situación de abatimiento de agua, estableciendo eficiencia, detectando condiciones y viabilidad de aplicación de acuerdo a las características de generales de los proyectos.

**Conclusiones:** Sin duda alguna, el favorecimiento gerencial en los proyectos y empresas es la base de protección de los recursos naturales y oportunidades reales de la gestión ambientales para funcionar eficientemente en las compañías. Los resultados obtenidos en el documento obedecen al apoyo corporativo incondicional al grupo de auditoría ambiental en el proyecto Segunda Calzada Bogotá – Villavicencio, Tablón - Chirajara.

Dentro de los planteamientos del manual, se desarrolla una posible herramienta para las decisiones que afectan microcuencas y/o alternativas de control, prevención y seguimiento, en los eventos de abatimiento de agua por construcción de túneles medianos y pequeños. Es importante resaltar que se planteó un robusto plan de seguimiento y monitoreo, aplicando metodologías contextualizadas a las condiciones como apoyo en las actividades anteriores y paralelas a la excavación, con el objeto de estimar los posibles cambios que se pudiesen presentar en la zona de estudio.

Uno de los aportes más importantes del documento, está en las alternativas de atención, otorgando variables y factores aceptables para el área técnica; el estudio y aplicación en otras áreas, debe incorporar componentes como calidad de agua, modelos hidrogeológicos y distribución ecosistémica y de comunidades.

De otra parte, el manual no intenta plasmar las limitaciones metodológicas, conceptuales, de muestreos, campo, etc. Sin embargo, es pilar del documento el enfoque de procedimientos y atención, menos normativo y más descriptivo. Razón por la cual aplicación se explora desde estudios puntuales y anteriores de la zona, idóneos para ajustar las actividades y acciones de atención ambiental para eventos de abatimiento de agua.

También, el manual presenta características de aplicación a los demás proyectos de infraestructura, abriendo la posibilidad al análisis y aporte al desarrollo económico para la región afectada desde el ámbito ambiental y social. A demás se concluye, la posibilidad de aplicar instrumentos como los sistemas de información geográfica y modelación para identificar zonas vulnerables, posibles mejoras, claramente con la adaptación que requieren para mejorar los proyectos y lograr la protección del recurso.

Actualmente, se crean infinidad de herramientas tecnológicas, sistémicas entre otras, ofreciendo la posibilidad de incorporación en proyectos el manejo y seguimiento ambiental; sin embargo, es necesario documentar las experiencias de cada obra civil para entregar a las generaciones futuras de profesionales, los procedimientos y estudios generados para lograr una real protección al ambiente.

Atraves de la documentación de la experiencia del proyecto Segunda Calzada Bogotá-Villavicencio – tercio medio, se logró apropiar información de primera mano, más que necesaria sobre los procesos de atención ambiental, si bien es muy extensa para dar un a conocer todas las características e interacciones generadas, es un excelente manual para entender la complejidad del abatimiento por la excavación de túneles.

Finalmente se exalta la falta de protocolos de la autoridad ambiental, como guía para toma de decisiones, con el fin de lograr recuperación, protección, análisis y diseño en nuevos proyectos, en función de los recursos naturales, para lograr una concientización sobre que manejo se le da a procesos antropogénicos, ya que la sociedad actual se empecina en agotar indiscriminadamente con el futuro y soporte vital del planeta.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
4.1. OBJETIVO GENERAL .....	3
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. MARCO DE REFERENCIA .....	4
3.1. MARCO TEÓRICO .....	4
5.2. MARCO LEGAL.....	15
4. ASPECTOS METODOLÓGICOS .....	19
4.1. RELACIÓN DE PROCEDIMIENTOS EN ATENCIÓN AMBIENTAL IDENTIFICADOS PARA LA SEGUNDA CALZADA BOGOTÁ-VILLAVICENCIO / TERCIO MEDIO.....	19
4.2. DOCUMENTACIÓN DE AFOROS Y ACTIVIDADES, EVIDENCIANDO LAS METODOLOGÍAS CONTEXTUALIZADAS. ....	19
4.3. EXPLORACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA ATENCIÓN EN ABATIMIENTO DE AGUA, EN LOS TÚNELES MEDIANOS Y CORTOS. ....	19
4.4. ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO. ....	19
5. RESULTADOS.....	20
5.1. RELACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE ATENCIÓN AMBIENTAL IDENTIFICADOS EN LA SEGUNDA CALZADA BOGOTÁ-VILLAVICENCIO, TERCIO MEDIO.....	20
<b>5.1.3.1. DISEÑO GENERICO DE LA RED DE MUESTREO Y SELECCIÓN DE CUERPOS HIDRICOS PARA SEGUIMIENTO</b> .....	22
5.2. DOCUMENTACIÓN DE AFOROS Y ACTIVIDADES, EVIDENCIANDO LAS METODOLOGÍAS CONTEXTUALIZADAS. ....	28
<b>5.2.1. Alcance y Aplicación</b> .....	29
<b>5.2.2. Resumen del Método</b> .....	29
5.2.2.1. Seguridad del Personal .....	29
5.2.2.2. Calificaciones del Personal .....	30
5.2.2.3. Equipamiento .....	30
5.2.2.4. Procedimientos de aforo por el método volumétrico para cuerpos hídricos lenticos	30
5.2.2.5. Procedimientos de aforo por el método volumétrico invertido para cuerpos hídricos lenticos y/o bajo flujo.....	32
5.2.2.6. Procedimientos de aforo por el método volumétrico invertido para perforaciones – freatímetro, piezómetros .....	35
5.2.2.7. Procedimientos de aforo por el método másico, de para cuerpos hídricos lenticos y/o bajo flujo, sin posibilidad de almacenar o confinar .....	38
5.3. EXPLORACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA ATENCIÓN EN ABATIMIENTO DE AGUA, EN LOS TÚNELES MEDIANOS Y CORTOS. ....	40
5.3.1. Perforaciones como alternativa de atención .....	40
5.3.1.1. Perforaciones internas .....	40
5.3.1.2. Perforaciones paralelas en horizontal.....	41
5.3.1.3. Perforaciones perpendiculares en vertical .....	42

5.3.2.	<i>Acueductos veredales y municipales como alternativa de atención</i> .....	42
5.3.3.	<i>Sustitución por puntos desafectados como alternativa de atención</i> .....	44
5.3.4.	<i>Concesión de agua subterránea como alternativa de atención</i> .....	44
6.	CONCLUSIONES .....	46
7.	DOCUMENTOS DE REFERENCIA .....	47
8.	GLOSARIO .....	48
9.	BIBLIOGRAFIA .....	50

### ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: PASO 1.1 .....	33
ILUSTRACIÓN 2: PASO 1.2 .....	34
ILUSTRACIÓN 3: PASO 1.3 .....	34
ILUSTRACIÓN 4: PASO 1.4 .....	35
ILUSTRACIÓN 5: PASO 1.5 .....	35
ILUSTRACIÓN 6: PASO 2.1 .....	36
ILUSTRACIÓN 7: PASO 2.2 .....	37
ILUSTRACIÓN 8: PASO 3.3 .....	37
ILUSTRACIÓN 9: PASO 3.1 .....	38
ILUSTRACIÓN 10: PASO 3.1 .....	39
ILUSTRACIÓN 11: PASO 3.1 .....	39
ILUSTRACIÓN 12. PERFORACIÓN INTERNA .....	40
ILUSTRACIÓN 13. COBERTURA Y PORTAL .....	41
ILUSTRACIÓN 14. PERFORACIONES PARALELAS EN HORIZONTAL .....	41
ILUSTRACIÓN 15. PERFORACIONES PERPENDICULARES EN VERTICAL .....	42

### ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: TÉCNICAS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL .....	5
---	---

### ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍAS 1 AFLORAMIENTOS CON APLICACIÓN DEL MÉTODO VOLUMÉTRICO .....	31
FOTOGRAFÍAS 2 AFLORAMIENTOS CON APLICACIÓN DEL MÉTODO VOLUMÉTRICO INVERTIDO .....	32
FOTOGRAFÍAS 3 SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN DE AGUAS DE INFILTRACIÓN .....	45

## 1. INTRODUCCIÓN

La construcción de túneles ofrecen una solución a los diseñadores de infraestructura vial, que se adapta plenamente a la difícil topografía Colombiana, proyectados con el fin de atravesar unidades montañosas, que generalmente, mantienen agua, tanto subterránea como en su cobertura. Si bien los túneles reducen tiempos de tránsito, facilita la operación de las vías y mejora la movilidad; a la par generan grandes obstáculos ambientalmente hablando. También es conocimiento común, que la legislación colombiana emana normativa para protección de los recursos naturales, sin embargo, estas se ven cortas en el marco de seguimiento a licencias ambientales que otorgan “permisos” para impactar negativamente los recursos con todo tipo de obras.

Teniendo en cuenta los factores anteriormente nombrados, es importante señalar las condiciones preponderantes al abatimiento hídrico, que desencadena la excavación de los túneles de distancias menores a 3000 metros lineales, dichas condiciones son enlistados a continuación:

- Las cortas distancias que se encuentran entre la frontera del túnel y la cobertura de la montaña.
- También se agudiza con el tipo de formación geológica atravesada y encontrada en la cobertura, que en general corresponde al coluvión, entendido como un material sin compactación con probabilidad de movimiento de masa y almacenamiento de bajos volúmenes de escorrentía o precipitación.
- Sistemas hídricos conformados por los movimientos tectónicos, de asentamiento, intervenciones antropogénicas y deslizamientos, que forma pequeños flujos de agua que aprovechan fracturas y micro-fracturas que confluyen en un punto que por gravedad o cambio de altura afloran.

Es así, que surgen los factores para adoptar procedimientos en el correcto manejo ambiental, siendo este el énfasis de este documento, la atención de eventos de abatimiento de agua en la cobertura de los túneles medianos y cortos.



Los principales elementos de consideración en la situación de abatimiento, corresponden a las características geológicas del área, líneas de flujo y una muy buena fase exploratoria para identificar los afloramientos de agua, que en tal sentido corresponderían a los puntos de mayor interés ambiental. Dichos afloramientos son comúnmente nombrados como manantial, aljibe, Jagüey, brote o nacedero; que para entendimiento y práctica del manual se conceptualizaran en el glosario.

De igual forma, se hace necesaria una exhaustiva identificación social de la población que se beneficia de los afloramientos, uso, destino, condiciones sanitarias de almacenamiento, tratamiento previo y disposición final. Además de toda información disponible a recopilar, puesto que este componente será el de más delicado manejo, ya que para las comunidades rurales les representa la principal forma de abastecimiento de agua, debido a las desprotección estatal, evidenciada en la mayor parte del territorio nacional.

Paralelamente, a toda la identificación de la zona, es impajaritable caracterizar todos aquellos ecosistemas asociados o dependientes de estos afloramientos, entendiendo que es recurrente encontrar pequeños espejos de agua que su afluente corresponde a estos flujos derivados de las unidades montañosas.

Atendiendo de esta manera todas las actividades de exploración y considerando los aspectos antes mencionados, se entregan elementos necesarios para un complemento al manejo ambiental, incluyendo los procesos naturales que en varios proyectos no tienen seguimiento, como la meteorología; siendo una de las variables más importante para la comparativa de comportamiento y análisis.

Claramente, se encontrarán túneles que presenten poca agua en su cobertura o flujo subterráneo; sin embargo, esta identificación debería contenerla una buena línea base, que en ocasiones no integra esos pequeños puntos que terminan siendo los afectados por la excavación. Estos vacíos de información, debe entenderse como un dinamismo propio que se deberá actualizar, conforme se avance en las actividades constructivas, pues es con el emportalamiento que se vislumbra más fácilmente el trazado de la cavidad y por ende su eje geométrico.

Es a partir de ahí, que se materializa el monitoreo de los afloramientos, a través de su caudal, estableciendo un mecanismo real de control y alerta. Siempre desde un buen sistema de medición y metodologías de aforo, para eliminar la incertidumbre y acoger una mayor confianza.

De este último tema, se evidencia la necesidad de generar en Colombia protocolos que cubran la creciente demanda de mediciones ambientales, concernientes a varios componentes sin documentación, y otros tantos que siquiera se han explorado, como es el caso de la medición de cuerpos hídricos lenticos o de bajo flujo. Por tal motivo la experiencia y aplicación de la medición de caudal en afloramientos, corresponde a medir caudales con ajustes y adecuaciones tanto en la metodología, como en la práctica. Si bien es cierto que casi no existe literatura de consulta, y la poca asequible no es extensa o contextualizada, además de vacíos y falencias en procedimientos que permitan la ejecución de los mismos. Por ende en este documento expone algunos procedimientos aplicables para el seguimiento de aguas en coberturas de túneles medianos y cortos en Colombia, unificado y/o estándar que permitan eliminar sesgos de las diferencias encontradas en metodología, procedimientos y actividades de las distintas firmas prestadoras del servicio.

## **2. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo general**

Desarrollar manual de atención ambiental para aguas en las coberturas de los túneles medianos y cortos, con probabilidad de abatimiento hídrico.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Relacionar procedimientos de atención ambiental en los componentes más importantes identificados en la construcción de la Segunda Calzada Bogotá-Villavicencio, del tercio medio; para atención por abatimiento.
- Establecer metodologías de aforo de caudal aplicables a cuerpos hídricos lenticos o de bajo flujo.
- Documentar alternativas de atención por abatimiento de agua en coberturas de túneles medianos y cortos.

### 3. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1. Marco teórico

##### 3.1.1. Túneles medianos y cortos.

<sup>1</sup>*El mundo actual experimenta una creciente margen constructiva de túneles carreteros y férreos y en especial de obras subterráneas para la producción, almacenamiento y transporte de energía. Colombia, se encuentra incluida en la oleada, puesto que en la última década ha proyectado la construcción de varias decenas de túneles hidroeléctricos y viales, siendo catalogada a nivel Latino Americano, junto con Chile, como una potencia en esta especialidad.*

*La topografía del país y el hecho de que los grandes centros urbanos se encuentren concentrados en las zonas de montaña, condicionan la necesidad de salvar los obstáculos para la conectividad de las regiones, mediante obras subterráneas con una mínima afectación al ambiente. Particularmente, la Agencia Nacional de Infraestructura - ANI, proyecta en las concesiones de cuarta generación - 4G, la construcción de 159 túneles, en una longitud total de 141 Km, de los cuáles 45 Km corresponden a túneles de más de 2 Km de longitud, denominados túneles largos. Por otra parte, el sector eléctrico viene desarrollando proyectos que requieren cada día más obras subterráneas emplazados en nuestra geológica compleja. Los problemas de movilidad de Bogotá proyectan como solución la construcción del metro, el cual plantea grandes retos a la ingeniería. Para el desarrollo del sector de infraestructura, particularmente del transporte y energético, se requiere contar con un mayor número de profesionales capacitados en la planeación, diseño y construcción de túneles y obras subterráneas*

---

<sup>1</sup> Recuperado de:


[http://geoteniatusneles.blogspot.com.co/http://www.escuelaing.edu.co/es/programas/educacion\\_continuada/diplomados/T%C3%BAneles+en+Suelo+y+Roca/duracion](http://geoteniatusneles.blogspot.com.co/http://www.escuelaing.edu.co/es/programas/educacion_continuada/diplomados/T%C3%BAneles+en+Suelo+y+Roca/duracion)

### 3.1.2. Aforos - Medición de caudales

Las Diferentes metodologías para medición de caudal, se encuentran sustentadas en los protocolos y documentos oficiales, preparados por el IDEAM<sup>2</sup> y la OMM<sup>3</sup>.

El caudal de una fuente hídrica puede medirse utilizando diferentes técnicas, las cuales dependerán de las características y variables de los ecosistemas, del sitio de muestreo, de las condiciones al momento de su realización y el fundamento de la técnica aplicada. (Herrera 2015) Dichas técnicas se presentan en la siguiente tabla:

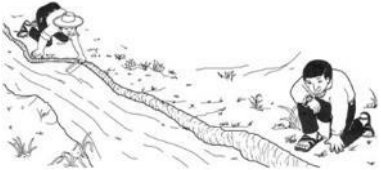


**Tabla 1: Técnicas para medición de caudal**



TECNICA PARA MEDICIÓN DE CAUDAL	FUNDAMENTO
<p data-bbox="370 995 714 1024">AFORO POR SUSPENSIÓN</p>  <p data-bbox="282 1398 800 1428">Fuente: Autor, septiembre 2013 – Sector 2A</p>	<p data-bbox="857 951 1370 1476">Aplicado para aforar un cuerpo de agua de abundante caudal, los equipos de medición se suspenden desde un puente o línea colgante, la cual se desliza sobre la fuente hídrica susceptible de medición, desde allí se sumergen los equipos de medición apoyado de un lastre, para contrarrestar la velocidad de la corriente de agua y posteriormente estabilizar el molinete.</p>

<sup>2</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM), Guía Para el Monitoreo de Vertimientos Aguas Superficiales y Subterráneas, 1999

<sup>3</sup> Organización Metrológica Mundial, Guía de Prácticas Hidrológicas, Adquisición y proceso de datos, Análisis, Predicción y otras Aplicaciones.

TECNICA PARA MEDICIÓN DE CAUDAL	FUNDAMENTO
<p data-bbox="349 310 735 384">FORO CON MICRO-MOLINETE HIDROMÉTRICO</p>  <p data-bbox="321 1014 761 1041">Fuente: Autor, abril 2015 – Sector 2A</p>	<p data-bbox="857 304 1373 1052">En esta técnica se utiliza un medidor de velocidad, que se distribuye en red de segmentos sobre la vertical y la horizontal del cuerpo de agua, finalmente la sumatoria de los caudales de todos los segmentos analizados, representarán el caudal total. Se utiliza un molinete como en el caso del método por suspensión, sin embargo, los cuerpos de agua aforados por medio de este método tienen una profundidad tal, que permite que las mediciones las realice un técnico desde el cauce del cuerpo de agua</p>
<p data-bbox="280 1073 800 1100">AFORO POR EL MÉTODO DE FLOTADOR</p>  <p data-bbox="332 1476 750 1503">Fuente: Autor, julio 2013 – Sector 3</p>	<p data-bbox="857 1104 1373 1465">Se realiza la misma distribución de la técnica anterior, pero aquí se utiliza un elemento flotador para estimar la velocidad. Finalmente, se suman o promedian los parciales obtenidos en cada segmento para hallar el caudal total.</p>

TECNICA PARA MEDICIÓN DE CAUDAL	FUNDAMENTO
<p>AFORO POR EL MÉTODO DE DILUCIÓN</p>  <p>Fuente: <a href="http://datateca.unad.edu.co">http://datateca.unad.edu.co</a></p>	<p>Se utiliza una sustancia trazadora como por ejemplo el NaCl (Cloruro de Sodio) la cual se vierte en un punto del cauce o flujo de agua, al medir el tiempo y la distancia que tarda esta sustancia en llegar de un lugar a otro, sumado al área transversal, se puede calcular el caudal de la fuente hídrica.</p>
<p>AFORO VOLUMÉTRICO</p>  <p>Fuente: Autor, abril 2015 – Sector 2</p>	<p>Se determina el tiempo requerido, para llenar un recipiente de capacidad conocida, o el tiempo necesario para llenar parcialmente un recipiente calibrado a un volumen determinado.</p>
<p>AFORO POR VERTEDERO</p>  <p>Fuente: Autor, febrero 2016 – Sector 1</p>	<p>Consiste en una obstrucción hecha en el flujo de agua para que el líquido retroceda hacia atrás y fluya sobre este o a través.</p> <p>Al medirse la altura de la superficie líquida, aguas arriba, es posible determinar el flujo.</p>

TECNICA PARA MEDICIÓN DE CAUDAL	FUNDAMENTO
<p>AFORO CON CANALETA PARSHALL</p>  <p>Fuente: Autor, abril 2015 – Sector 2A</p>	<p>Consiste en un medidor, que dispone de una garganta, la cual eleva el nivel del agua en función del caudal, se encuentra conformado por una sección de entrada de paredes verticales convergentes con una graduación para determinar la altura del líquido, esta última viene correlacionada según las especificaciones del fabricante a una medida de caudal específica.</p>
<p>AFORO POR CAUDALÍMETRO</p>  <p>Fuente: Autor, febrero 2016 – Sector 4</p>	<p>Consiste en un elemento similar al que poseen los contadores de agua de las viviendas; este dispositivo, permite medir el caudal de un líquido y la cantidad que pasa a través de él</p>



TECNICA PARA MEDICIÓN DE CAUDAL	FUNDAMENTO
<p>AFORO CAUDAL CONTINUO DE FLUJO BAJO</p>  <p>Fuente: Autor, julio 2015 – Sector 2A</p>	<p>El caudal continuo de bajo volumen, es aquel que fluye por un sustrato con alguna permeabilidad, sin evidenciar una lámina de agua, sino por el contrario una superficie húmeda, la metodología que mejor se adapta a este tipo de situaciones, es la implementación de material absorbente que retenga y acopie la mayor cantidad del volumen posible.</p> <p>Esta metodología se desarrolla similar al aforo volumétrico, pero en lugar de medirse el volumen total de agua recolectada, éste se pesa, para hallar la cantidad por medio de la densidad de la misma agua.</p>
<p>AFORO DE CUERPOS HÍDRICOS CON VOLUMETRICO INVERTIDO</p>  <p>Fuente: Autor, julio 2015 – Sector 1A</p>	<p>Cuando se desconoce o es difícil determinar las dimensiones de una fuente hídrica, piezómetro o freatómetro, se puede calcular el caudal, determinando el tiempo que tarda en recuperar la altura de la lámina de agua cuando se extrae un volumen conocido, en otras palabras, se puede calcular el tiempo en que tarde en recuperar el nivel de agua y relacionarlo con un volumen extraído.</p>



### 3.1.3. Características geológicas de las unidades montañosas en la Segunda Calzada Bogotá – Villavicencio, tercio medio.

<sup>4</sup>La geología del sitio es uno de los insumos principales para la identificación de zonas de ocurrencia potencial de aguas subterráneas, ya que determina las propiedades favorables de las rocas para el almacenamiento de agua (INGEOMINAS, 2004). Para la zona aferente al proyecto, se contó con la información geológica suministrada por el estudio realizado para los diseños definitivos en el corredor realizado por el CONSORCIO E.D.L. LTDA. – C.E.I. S.A.

## ESTRATIGRAFÍA

A lo largo del corredor vial se encontraron suelos y aluviones relacionados con las dinámicas de los Ríos Negro, Sàname, Contador y sus arroyos afluentes, depósitos de coluvión, terrazas, acumulaciones localizadas de material fluvio Glaciar, algunos flujos y derrubio cubriendo parcialmente las lutitas de Macanal (o Grupo Cáqueza -Kc). Las principales unidades litológicas de la base hacia el techo, encontradas en el área del proyecto son

- **EDAD CUATERNARIA**

Por lo general los suelos reconocidos en la zona corresponden a gravas limosas o arcillosas, con alguna plasticidad y en algunos sitios arenas limosas de baja plasticidad.

## DEPÓSITOS ALUVIALES

Son restringidos a las llanuras aluviales y cauces originados por el Río Negro y sus afluentes. Están conformados por materiales sueltos, bloques y cantos redondeados y subredondeados, gravas, arenas y en menor proporción limos y arcillas. En el cauce del río entre los lineamientos Algodonal y Barandillas se formó una ancha llanura que alcanza los 700 metros, angostándose aguas abajo a 110 metros.

---

<sup>4</sup> EIA – Segunda Calzada Bogotá – Villavicencio, 2008; CONSORCIO E.D.L. LTDA. – C.E.I. S.A.

## DEPÓSITOS DE COLUVION (Qc)

Estos depósitos consisten en fragmentos líticos angulares de bloques y gravas caóticamente dispuestos en una matriz areno-arcillosa, presentando consolidación baja, rellenando el paisaje según la pendiente topográfica, algunos depósitos jóvenes presentan disposición de ejes mayores de los clastos superpuestos (imbricación) de sus constituyentes, apreciable en el carreteable de acceso a la casa cercana al portal de entrada del túnel uno.

La variación en el estilo de deformación de la Formación Càqueza Inferior notable en los paquetes de lutitas, dan apariencias de gruesos espesores de estas acumulaciones (hay estimativos de hasta 30 metros de espesor). Se puede inferir en la mayoría de estas acumulaciones, que las fuentes de origen de los fragmentos constituyentes están relativamente cercanas. Los cambios fuertes de pendiente y los pliegues estrechos de baja amplitud, no facilitan un estándar medible de la continuidad de estos depósitos. Algunos se aprecian extensos y abanicados sobre los que se han desarrollado suelos rojizos hasta de 3 metros y muestran fuerte contraste con las zonas abruptas de la Formación Càqueza Inferior.

Dos coluviones fácilmente reconocibles son los de la Quebrada Algodonal (margen izquierda) y la Palma (margen derecha). El primero de estos, observable desde puente Téllez presenta disección por el Río Negro, dejando ver escarpes a manera de escalones. El coluvión más extenso del área, con 240 y hasta 950 metros, corresponde al de la Quebrada Moscosia (entre los túneles 2 y 3), con dirección al Sureste y se asocia a las zonas de Falla de Chapinero, San Juan y Llano Grande. Si se tiene en cuenta que cualquiera de estos tipos de falla se reactiva, por la naturaleza arcillosa in-consolidada del depósito y por su ubicación, se puede considerar inestable. Algunos de estos coluviones, como el del terreno del túnel uno presentan más de un evento de depósito.

- EDAD CRETACICA

El cretácico está conformado en el área por las lutitas de la Formación Càqueza, que ha sido denominada en algunos informes como Lutitas de Macanal y aquí se utiliza la definición de la Formación Càqueza Inferior (Kc)

#### FORMACIÓN CÁQUEZA INFERIOR (Kc).

El área presenta terrenos sedimentarios compuestos por lutitas grises e intercalaciones de limolitas silíceas, que se disponen en capas por lo general delgadas; otros niveles son de lodolitas negras físis con areniscas en estratos delgados y medios con cierta gradación de espesores hacia la base de la secuencia. Las fracturas presentan rellenos de cuarzo lechoso, sulfatos, yeso o melanteritas y solamente en las perforaciones se encontraron muy esporádicas venas de calcita con costras ferruginosas. Algunos afloramientos que evidencian surgencias de agua o humedad, presentan horizontes “calichosos” confundibles con carbonatos, como los existentes hacia el portal de salida del túnel tres.

Los paquetes de lutitas pueden presentar variación en color desde diversos tonos de gris y negro, pero también rojizos (notables hacia el portal de salida del túnel uno) y amarillos, relacionados al parecer, con grados mayores de alteración hídrica de la Formación; por el contrario los niveles negros (dado por minerales grafitosos) predominan en la base de la secuencia (se aprecian en el portal de salida del túnel tres) y presentan mejor competencia en las rocas.

En estos niveles se aprecian algunas capas de areniscas con ichnofósiles y calcos de carga, lo que evidencia su origen a partir de ambientes marinos y se confirma con algunos foraminíferos encontrados en núcleos de perforación, asociados a estratos con cemento calcáreo en muy bajas proporciones y algunas láminas de calcita (lo que permitiría delinear un contacto gradacional con los niveles predominantemente calcáreos de la Formación Quebrada Honda).

La intercalación de areniscas y limolitas según su predominio sobre lodolitas, permite diferenciar algunos paquetes de materiales litológicos en las lutitas de la Formación Càqueza Inferior, que

además de presentar estas variaciones en los tamaños de grano, pueden tener comportamientos plásticos particulares.

Para efectos de una caracterización geotécnica preliminar, se diferenciaron paquetes de Lutitas Replegadas, paquetes de Lutitas con Areniscas y paquetes de Lutitas Silíceas, las cuales son corroboradas parcialmente con las perforaciones y con un análisis de facies, sobre todo en los túneles uno y dos.

También, los paquetes de roca pueden presentar variación del color desde diversos tonos de gris, pero algunos pueden presentar tonos rojizos (evidentes en el río Sàname cerca del portal de entrada del túnel dos) y amarillos, relacionados al parecer, con grados mayores de alteración de la Formación; por el contrario los niveles negros (dados por minerales grafitosos) que predominan en la base de la secuencia (se aprecian en los registros de perforación) pueden presentar mejor condición de autosoporte incrementada por los niveles calcáreos (diagénesis química) por la homogeneidad secuencial y dureza media evidenciada en los mejores recobros en los sondeos.

Esta unidad estratigráfica presenta en algunos sitios muy esporádicas capas de limolitas con fósiles, lo que evidencia su origen a partir de ambientes marinos y se confirma con la evidencia de bioturbación encontrada en algunos núcleos de perforación, asociados a estratos con cemento calcáreo y algunas láminas de calcita micrítica, lo que además permite deducir un ambiente somero marino de sedimentación.

- EDAD PALEOZOICA

#### FORMACIÓN ARENISCAS DE GUTIÉRREZ (Dg)

La topografía muy abrupta, notable a lo largo de la margen derecha de la angostura del río Negro, corresponde con la morfología de la formación metamórfica cuarcítica Areniscas de Gutiérrez. Aproximadamente un 60% del área presenta terrenos metamórficos compuestos por un substrato que se dispone en bancos muy gruesos y masivos y con el intemperismo dejan ver foliación incipiente que puede corresponder a la estratificación original de los sedimentos o al mismo

proceso metamórfico en el que la deformación por lo general es en forma de pliegues. En estado fresco la roca se comporta como una unidad única y maciza. El levantamiento de la cordillera oriental ha permitido aflorar esta unidad evidenciando patrones de diaclasamiento que dejan geoformas piramidales con pendientes mayores de 45°, donde muy esporádicas fracturas presentan rellenos de cuarzo lechoso y en algunas partes se intercalan niveles delgados de filitas gris- verdosas.

La Formación Areniscas de Gutiérrez presenta excelentes condiciones de autoporte dada la estructura y la dureza de las rocas, aun en los sitios que presentan intenso fracturamiento, como se puede inferir de los túneles de Quebrada Blanca, los cuales fueron excavados en esta formación, y la que será igualmente intervenida para parte del túnel 8 y los túneles 9 y 10 de este estudio en una extensión de 2540 metros y donde afloran con ángulos cercanos a la vertical. La prolongada extensión con foliación incipiente exhibida por esta unidad, el fracturamiento intenso con diaclasas cerradas y rellenadas por cuarzo en venas, la homogeneidad de la formación con muy esporádicas capas de filitas y la recristalización de los granos casi exclusivamente de cuarzo (Bajos porcentajes de algunas micas) evidencian su origen a partir de un ambiente de metamorfismo de tipo regional de baja presión y de baja temperatura de rocas de origen principalmente sedimentario en cuencas Paleozoicas.

#### FORMACIÓN QUETAME (Pq)

La topografía con vertientes suaves a moderadas (uvsu), notable a lo largo de la margen izquierda de la angostura del río Negro, corresponde a la morfología de la formación metamórfica filítica, la cual según la nomenclatura estratigráfica pertenece a un nivel del Pérmico y en este documento se describe utilizándose con la definición de Formación Quetame, siendo la unidad basamento de toda la secuencia estratigráfica en los cuatro sectores, conformando el denominado MACIZO DE QUETAME.

Aproximadamente un 30% del área presenta este terreno metamórfico compuesto por bancos muy gruesos de filitas foliadas algunas de las cuales se pueden observar en los afloramientos a lo largo del cauce de la Quebrada Blanca y en arroyos o quebradas del sector de Guayabetal donde

se ha descrito con la denominación de Formación Guayabetal la cual en la zona presenta una composición mas cloritica. Con el levantamiento de la cordillera oriental el basamento constituido por estas rocas, aflora evidenciando un macizo muy homogéneo con geoformas empinadas y alargadas, donde las fracturas antiguas (al igual que la Formación Areniscas de Gutiérrez) pueden presentar esporádicos rellenos de cuarzo hialino o lechoso.

Al igual que la Formación Areniscas de Gutiérrez la prolongada extensión con foliación incipiente exhibida por la Formación Quetame, la homogeneidad de la formación con muy esporádicas capas de cuarcitas y la re-cristalización de minerales limitados casi exclusivamente a cloritas micáceas (por neomineralización), evidencia su origen a partir de un ambiente de metamorfismo de tipo regional de bajo grado con presiones bajas y temperaturas bajas de rocas originalmente sedimentarias predominantemente arcillosas. La discontinuidad dejada por la foliación (constante y con una dirección preferencial) en estas rocas predomina sobre las discontinuidades dejadas por fractura posterior (menos constante o esporádica, con dirección en algunos sitios normal a la foliación) lo que en cierta forma orienta el flujo principal de las aguas subterráneas por fracturamiento intenso post metamórfico con diaclasas cerradas y rellenas por cuarzo en venas.

## **5.2. MARCO LEGAL.**

Teniendo en cuenta lo dispuesto en la normativa ambiental, se hace una relación de las principales normas aplicables a la atención ambiental dentro del proyecto Construcción Segunda calzada Bogotá- Villavicencio, sector el Tablón – Chirajara, enmarcados dentro de los lineamientos ambientales consagrados en la Constitución Política de Colombia de 1991, Decreto 2811 de 1974 y los decretos reglamentarios vigentes, entre otras:

### ***Constitución Política de Colombia de 1991***

En el Capítulo 3 del Título 2 denominado "*De los derechos, las garantías y los deberes*", incluye los derechos colectivos y del ambiente, o también llamados derechos de tercera generación con el fin de regular la preservación del ambiente y de sus recursos naturales, comprendiendo el deber que tiene el Estado y sus ciudadanos de realizar todas las acciones

para protegerlo, e implementar aquellas que sean necesarias para mitigar el impacto que genera la actividad antrópica sobre el entorno natural.

En el artículo 79 y 80 establece que *"todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano"* y así mismo, que *"es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica fomentar la educación para el logro de estos fines"*. *"El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados"*. (República de Colombia, 1991)

Que corresponde al Estado garantizar la calidad del agua para consumo humano y, en general, para las demás actividades en que su uso es necesario. Así mismo, regular entre otros aspectos, la clasificación de las aguas, señalar las que deben ser objeto de protección y control especial, fijar su destinación y posibilidades de aprovechamiento, estableciendo la calidad de las mismas y ejerciendo control sobre los vertimientos que se introduzcan en las aguas superficiales o subterráneas, interiores o marinas, a fin de que estas no se conviertan en focos de contaminación que pongan en riesgo los ciclos biológicos, el normal desarrollo de las especies y la capacidad oxigenante y reguladora de los cuerpos de agua.

### ***LEY 99 DE 1993. El Congreso de Colombia***

#### **Artículo 1. Principios Generales Ambientales (...)**

2. La biodiversidad del país, por ser patrimonio nacional y de interés de la humanidad, deberá ser protegida prioritariamente y aprovechada en forma sostenible.
3. Las políticas de población tendrán en cuenta el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza.
4. Las zonas de páramos, sub-páramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial.

5. En la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.
6. La formulación de las políticas ambientales tendrá en cuenta el resultado del proceso de investigación científica. No obstante, las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente.
9. La prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento.
10. La acción para la protección y recuperación ambientales del país es una tarea conjunta y coordinada entre el Estado, la comunidad, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado. El Estado apoyará e incentivará la conformación de organismos no gubernamentales para la protección ambiental y podrá delegar en ellos algunas de sus funciones.

***Decreto 2811 de 1974 - Código Nacional de recursos Naturales. Presidencia de la República de Colombia.***

En su Título VIII, Artículo 31 establece que “En accidentes que causen deterioro ambiental o hechos ambientales que constituyen peligro colectivo, se tomarán las medidas de emergencia para contrarrestar el peligro”. Como consecuencia de los desastres ocurridos en el territorio Colombiano, se crea en 1986 la Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (OND). (Ambiente, 1974)

***Ley 115 de 1994. Congreso de Colombia.***

Artículo 5- Consagra como uno de los fines de la educación, la adquisición de una conciencia para la conservación, protección y mejoramiento del medio ambiente, de la calidad de vida, del uso racional de los recursos naturales, de la prevención de desastres, dentro de una cultura ecológica y del riesgo y la defensa del patrimonio cultural de la Nación. (Men, 1994)



***Decreto 93 de 1998. Presidencia de la República de Colombia.***

Artículo 7- La descripción de los principales programas que el Sistema Nacional para la prevención y Atención de desastres debe ejecutar (...)

3.4 Medidas de protección y contingencia en obras de infraestructura. Se deben promocionar y desarrollar planes de contingencia de redes de servicios públicos y líneas vitales para la respuesta y rehabilitación de los servicios en caso de desastre, impulsar y realizar planes de contingencia de proyectos civiles de alto nivel industrial y tecnológico para la respuesta y atención de desastres de origen externo o interno.(Ministro Del Interior & Presidente De La República De Colombia, 1998)

***Resolución 1096 de 2000. Ministerio de Desarrollo Económico.***

Artículo 201 estableció que: “(...). Todo plan de contingencias se debe basar en los potenciales escenarios de riesgo del sistema, que deben obtenerse del análisis de vulnerabilidad realizado de acuerdo con las amenazas que pueden afectarlo gravemente durante su vida útil. El plan de contingencia debe incluir procedimientos generales de atención de emergencias y procedimientos específicos para cada escenario de riesgo identificado”. (Ministerio de Desarrollo Economico, 2000)

***Decreto 1575 de 2007. Ministerio de Protección Social.***

Artículo 30- Contenido del Plan Operacional de Emergencia o Plan de Contingencia. El plan Operacional de Emergencia debe tener en cuenta los riesgos de mayor probabilidad indicados en los análisis de vulnerabilidad y contar con medidas, acciones, definición de recursos y procedimientos a utilizar en situaciones de emergencia. Este Plan de Contingencia debe mantenerse actualizado y debe garantizar las medidas inmediatas a tomar en el momento de presentarse la emergencia, evitando a toda costa riesgos para la salud humana. (Ministerio De La Protección Social., 2007)

## **4. ASPECTOS METODOLÓGICOS**

### **4.1. Relación de procedimientos en atención ambiental identificados para la Segunda Calzada Bogotá-Villavicencio / tercio medio.**

Documentar los procedimientos de atención ambiental ejecutados en el proyecto Segunda Calzada Bogotá-Villavicencio, concernientes a la probabilidad de abatimiento del agua en la cobertura de los túneles medianos y cortos.

### **4.2. Documentación de aforos y actividades, evidenciando las metodologías contextualizadas.**

Documentar las actividades de campo, instrumentos, y cálculo para medir caudales, contextualizando las condiciones y características de los cuerpos hídricos que mantienen bajo flujo o lentos.

### **4.3. Exploración de alternativas para atención en abatimiento de agua, en los túneles medianos y cortos.**

Describir alternativas de atención para la situación de abatimiento de agua, estableciendo eficiencia, detectando condiciones y viabilidad de aplicación de acuerdo a las características de generales de los proyectos.

### **4.4. Elaboración del documento.**

Elaborar el presente documento, a partir la experiencia ambiental en el proyecto Segunda Calzada Bogotá – Villavicencio, tercio medio. Con el fin de generar un apoyo a los demás proyectos de infraestructura, que se enfrentarán a la construcción de túneles medianos y cortos.

## **5. RESULTADOS**

### **5.1. Relación de procedimientos de atención ambiental identificados en la Segunda Calzada Bogotá-Villavicencio, tercio medio.**

#### **5.1.1. ALCANCE**

Se propone la atención en las situaciones de abatimiento de agua, en los túneles medianos y cortos en los proyectos de infraestructura vial, estudios de impacto ambiental, controles ambientales para obras subterráneas, gestiones de permisos ambientales y licencias.

Por lo tanto, se exponen las pautas ambientales específicas del proyecto Segunda Calzada Bogotá – Villavicencio, tercio medio; documentando resultados, aciertos y datos comparables, generando conocimiento base para aplicar en las condiciones de los futuros proyectos.

El objetivo primordial radica en generar conocimiento partir de la recolección de experiencia, de un proyecto pionero, información que estará a disposición de forma organizada fácilmente procesable en un formato ajustable.

#### **5.1.1.1.AMBITO DE APLICACION DEL MANUAL**

Este manual se ha diseñado para documentar los potenciales requerimientos de atención para abatimiento de agua. Dichos requerimientos dependerán de la naturaleza y escala del proyecto, también del área de influencia y vulnerabilidad identificada en los cuerpos hídricos en análisis, con respecto a su ubicación y relación con áreas potencialmente sensibles. A continuación se presentan las fases de desarrollo para la implementación del manual.

#### **5.1.2. Fase de identificación, delimitación de cuencas hídricas, exploración, inventario hídrico y actividades de levantamiento primario de información:**

En esta fase se identifican las cuencas hídricas tanto mayores como menores, y diagramación de divisoria de cuencas, con el fin de establecer dirección de flujos primarios. Así como la exploración del área, que comprende una herramienta ambiental de suma importancia, la cual debe ser ejecutarse desde antes del inicio y durante las actividades constructivas.

#### 5.1.2.1. INVENTARIO Y CARACTERIZACIÓN DE CUERPOS HIDRICOS:

A partir de recorridos en la zona, observación directa, información de la comunidad, revisión previa de fotografías satelitales y topografía, además de un arduo y continuo trabajo de campo, el ideal es obtener un inventario al 100%. Recopilando información para identificar y caracterizar socio-ambientalmente todos y cada uno de los puntos de agua; atendiendo los dos componentes primordiales, ecosistemas dependientes o asociados: flora, circundante, estado de cuenca superior, fauna, sistemas simples o complejos de hábitat formados con el punto de afloramiento.

Posteriormente, el aprovechamiento por comunidad que correspondería como mínimo: propietario, punto hídrico asociado, permanencia, ubicación y propiedad del predio, distancia, número de personas que residen, años de residencia, obra cercana, método de extracción, destino del recurso hídrico, fuente secundaria, permanencia, punto de abastecimiento en invierno, y verano, almacenamiento, limpieza y mantenimiento, tratamiento al agua, familias beneficiadas del punto, conflictos con vecinos por recurso, problemáticas propias por el recurso, manejo de aguas residuales.

Entrando a la caracterización de los puntos, es primordial establecer una clasificación del sistema hídrico identificado, estos varían con la gran tipología del terreno colombiano. Siendo lo más comúnmente encontrado:

- Afloramiento de agua sub-superficial
- Manantial, afloramiento de agua subterránea
- Escorrentía superficial
- Quebradas y ríos
- Pozo profundo
- Aljibe
- Freatímetro
- Piezómetro

También es esta fase es necesario analizar la probabilidad de abatimiento mediante la verificación de las líneas de flujo con el eje geométrico del túnel con especial énfasis en los ubicados por debajo del nivel horizontal de la excavación, a razón que es el principal impacto generado es el cambio de dirección de los sistemas hídricos en el interior de la unidad montañosa; lo cual abre las actividades de la siguiente fase.

#### 5.1.3. Fase de seguimiento y monitoreo:

El monitoreo continuo de la zona, cobra mayor agudeza en las ahora marcadas diferencias en temporadas de lluvia y estiaje. La situación ideal, correspondería a programar varias campañas de exploración, incluyendo aguas arriba y abajo del eje geométrico de los túneles; con el fin de ampliar la identificación a todos los cuerpos hídricos. De ser preciso, se debe aumentar los requisitos de reporte e información que considere conveniente, para asegurar la recopilación de todos los componentes y actores de la zona.

#### **5.1.3.1.DISEÑO GENERICO DE LA RED DE MUESTREO Y SELECCIÓN DE CUERPOS HIDRICOS PARA SEGUIMIENTO**

##### ***Objetivos***

Los objetivos más importantes para una red de muestreo, es posibilitar la detección de los flujos hídricos intervenidos o alterados que se relacionan o asocian a la construcción de los túneles, para establecer en tiempo muy corto el abatimiento del agua. Otro objetivo es medir los impactos generados por la construcción de los túneles sobre los ecosistemas dependientes o grupos residenciales cercanos, asentamientos humanos, comunidades, mercados, granjas, etcétera, que pueda ser adversamente afectado por el desabastecimiento hídrico.

##### ***Selección de los cuerpos hídricos para seguimiento***

- Estimar los cuerpos hídricos de seguimiento, dependerá directamente de la probabilidad de abatimiento, basado en criterios, objetivos y procedimientos claros, ejecutados por personal con experiencia e idoneidad. Cuando menos, todos aquellos puntos de los que la comunidad presente queja, deben incluirse en la red de muestreo, para resolver o atender posteriores reclamaciones.

- Modelo hidrogeológico detallado: El abatimiento potencial de agua deberá incluir todos aquellos estudios detallados, que bien sea de manera conceptual o verificada matemáticamente, estimen afectación por la construcción de túneles. De no contar con un modelo hidrogeológico detallado, como mínimo debe combinarse para el análisis información de geología, líneas de flujo, buzamientos, geomorfología, topografía y condiciones meteorológicas.
- Es factible la aplicación de gran variedad de herramientas tecnológicas, o sistemas de información geográfica, los cuales se recomiendan a este propósito. Primordialmente, se recomienda instalar estaciones meteorológicas propias; teniendo en cuenta la cobertura geográfica, zonas altas de cuencas entendidas como de recarga, obteniendo así datos comparativos con zonas bajas de cuencas; igualmente topografía, analizando las curvas de nivel y la altura.

También, se recomienda por microclimas y cambios drásticos del paisaje, además por confiabilidad, ya que se pueden revisar los datos manera constante y verificar su comportamiento en el tiempo real.

- Identificación de cuerpos sensibles o vulnerables: aun desarrollado un exhaustivo análisis de las condiciones e información de campo, la determinación de condiciones para puntos de interés susceptibles a abatimiento, en pocos casos es confiable o verificable, por lo cual ante la menor duda se debe incluir dicho punto para seguimiento. Lógicamente, también incluir los cuerpos hídricos que evidencien vulnerabilidad o alta probabilidad de abatimiento.

Consecuentemente, la red de muestreo descrita anteriormente presentará un documento, que estará a disposición del proyecto, y tomada en cuenta por la parte constructiva, compuesta de:

- Un mapa del área en el que estén claramente indicadas las vías de acceso, lagos, ríos y quebradas, asentamientos humanos y toda señal notable que exista, incluyendo la localización de los cuerpos hídricos claramente indicada.

- Un mapa topográfico mostrando la ubicación de los afloramientos (de preferencia a escala 1:50000 con curvas de nivel cada 10 metros).
- Un gráfico de cuencas y micro-cuencas, incorporando líneas de flujo, facilitará en gran medida el análisis y estimación de vulnerabilidad, permitirá inferir los cambios de dirección del agua por la construcción del túnel.
- Copia de los formularios debidamente diligenciados.
- Imágenes satelitales, ubicando señales de importancia, o considerativas.
- Registro fotográfico de cada punto y su área circundante.

### ***Validez de los Datos***

Puesto que la exactitud y precisión de los datos depende de la dificultad del terreno, análisis y experticia del grupo ejecutor; el rendimiento de éste debe ser verificado periódicamente por los el grupo de auditoria e interventoría del proyecto. Para el monitoreo se recomienda las siguientes pruebas de funcionamiento y control:

### ***Control de funcionamiento***

A realizarse la visita correspondiente a cada cuerpo hídrico, la información incluye observaciones de cualquier anomalía en el afloramiento, como inestabilidad del terreno, fluctuaciones positivas o negativas del flujo; aumento excesivo, tiempo de respuesta, pérdida del caudal, captación de la comunidad, pastoreo de animales, etc. Los profesionales deben estar familiarizados con el comportamiento y estabilidad de los cuerpo hídricos.

### ***Reportes de Resultados***

Toda la información de monitoreo y aforos será registrada con referencia a la hora local estándar al igual que su georreferenciación. Los caudales establecerán un comportamiento del punto, por lo que es necesario plasmar todas aquellas variables que puedan influir en el natural estado del afloramiento o cuerpo hídrico. El procedimiento general incluye:

Aproximación a la cifra siguiente cuando el último decimal es mayor o igual a 5, y aproximación a la cifra inferior en caso que el valor sea menor o igual a 4, en valores muy pequeños es necesario incluir hasta 3 o 4 decimales.

Todos los registros deben ser conservados por un periodo de 12 meses después de terminar la excavación, y estar a disposición del consultor cuando lo requiera, ya sea para verificar datos o soportar los hallados previamente.

Cuando se utilizan sistemas electrónicos de almacenamiento de información, debe usarse una copia de seguridad, y una tercera copia para mantener un respaldo de datos.

### ***Garantía de Calidad***

Para este tipo de estudios, corresponde a cuadros de control y tablas resumen de la información registrada por cada aforador, las cuales deben ser revisadas en totalidad y acompañadas a campo periódicamente.

El propósito de las revisiones es detectar errores y variaciones inexplicables que pudieran aparecer entre valores sucesivos correspondientes al monitoreo. Si aparece algún error y su corrección es dudosa, la información cuestionada es retirada de la información y verificada en campo.

Cuando parte de la información se considere inválida, las razones y acciones correctivas, deberán ser registradas y aun así preservadas.

#### **5.1.4. Fase de atención y seguimiento en el evento de abatimiento de agua:**

Por último y no menos importante, se encuentra la atención específica para el abatimiento de agua; el cual debe proyectarse desde los dos siguientes componentes: ecosistemas, que refiere a toda la fauna y flora que se abastece y soporta de esos afloramientos. El segundo es el componente social, el cual se enfoca a identificar la comunidad que se beneficia de los cuerpos hídricos, núcleos familiares, soporte económico, cultivos, granjas, etc.

### **Objetivos**

Los objetivos más importantes para la atención en eventos de abatimiento de agua, es mitigar, controlar, corregir y compensar en ese mismo orden, los sistemas hídricos intervenidos o alterados que se relacionan o asocian a la construcción de los túneles, buscando siempre la mejor y pronta actuación del proyecto. Como se mencionó anteriormente, existen dos líneas principales de atención que corresponden al componente ecosistémico y social.



La organización de las actividades de atención, ofrece una mejor descripción por fichas, en las que se incluyan: objetivos, tipo de medida, acciones a desarrollar, componente o población beneficiada, indicadores de seguimiento, equipo y personal requerido y responsables.

Consecuentemente, y a partir de la experiencia de COVIANDES en la segunda calzada Bogotá – Villavicencio, tercio medio; se desarrollaron 6 fichas de atención para eventos de abatimiento, concentrados en el plan de contingencia presentado, aprobado y mejorado posteriormente.

Las fichas antes mencionadas corresponden a:

### **Ficha 1 - Inventario hídrico general:**

A partir de la identificación y caracterización socio ambiental del recurso hídrico para un tramo de 7 kilómetros lineales de obra, se evidenció que hay fuentes de agua que constituyen el principal recurso hídrico para la mayoría de los habitantes de la zona, que sustentan sus actividades domésticas y económicas (UT Medio Natural Conambiente 2015).

Dichas fuentes de agua corresponden a manantiales, afloramientos sub-superficiales, puntos de recolección de agua de escorrentía, corrientes superficiales y jagüeyes que se caracterizaron en un arduo trabajo que cubrió algo más de dos años. A partir de recorridos en la zona se observó, que a pesar de que los medios más usados son el agua sub-superficial y subterránea, las condiciones de su entorno no óptimas, puesto que los puntos se encuentran en su mayoría sin cubiertas, cercas adecuadas, y en algunos casos rodeados de residuos sólidos, líquidos, desprotegidos de vegetación, además con presencia de animales de pastoreo; en algunas viviendas el agua no tiene ningún tratamiento previo al uso doméstico, pecuario y/o agropecuario.

Finalmente, esa labor recuperó información de 112 puntos de agua; para establecer mediante un análisis complejo, los que presentan vulnerabilidad y probabilidad de abatimiento, concentrando en 40 cuerpos hídricos el seguimiento y monitoreo correspondiente.

### **Ficha 2 - Incremento en los seguimientos a afloramientos vulnerables:**

#### **REPORTES DE AFORO**

A partir del análisis de vulnerabilidad se inició un seguimiento más estricto y con mayor frecuencia a los puntos con alto riesgo, para establecer el tiempo real de ocurrencia (6 puntos con

alto grado de posibilidad al abatimiento). Los aforos se realizaron semanalmente, y se generaron los correspondientes reportes levantados para evidenciar dicha actividad. Por otra parte se ejecutaron seguimiento mensual a los puntos con vulnerabilidad media y baja.

### **Ficha 3 - Sustitución permanente:**

#### **ACUEDUCTOS VEREDALES**

Con el propósito de valorar alternativas tendientes a solucionar la situación a los propietarios que pudiesen afectarse por los abatimientos de agua de los diferentes cuerpos hídricos abastecedores que se encuentran cercanos al primer sector de la segunda calzada Bogotá – Villavicencio, tercio medio, se realizó una investigación detallada para conocer el estado legal – ambiental de los Acueductos de las Veredas circundantes, como opción factible de aprovechamiento para sustitución de agua a los referidos propietarios. Dicha investigación arrojó elementos muy importantes, como la titularidad de la concesión de agua, estado ante la autoridad legal y tiempo de caducidad; razones por las cuales se permite evaluar la factibilidad de generar convenios para su mejoramiento y adecuación o su inviabilidad, según la situación hallada.

Simultáneamente, del inventario general de cuerpos hídricos se evaluaron los puntos que presentaban mejores condiciones de permanecía, calidad y distancia que pudiesen ofrecer a los ecosistemas y población desabastecida otra fuente confiable de agua para la supervivencia.

### **Ficha 4 - Reciclaje:**

#### **BOMBEO, PERFORACIÓN Y REDIRECCIÓN DE AGUAS DE INFILTRACIÓN**

Teniendo en cuenta la pendiente de la excavación de cada túnel, con la dirección y flujo de agua subterránea que se recuperará en la construcción, siempre garantizando inocuidad desde la captación, conducción y evacuación, es viable mediante conceptos técnicos, construir estructuras permanentes para entregar agua a la misma unidad montañosa, ecosistemas y población con el propósito de restablecer la continuidad de los flujos y/o sustitución, posibilitando la solución al impacto del cuerpo hídrico afectado.

### **Ficha 5 - Suministro externo provisional:**

#### **ENTREGA DE AGUA POR CARRO-TANQUE**

Se gestionaría de forma oportuna y previsiva, el mecanismo para el suministro de agua con origen externo, de tal forma que se garantice restituir de forma paralela y progresiva el servicio de provisión de agua, es decir no se podrá esperar a la desaparición plena del recurso para proceder, sino que se actuará de forma anticipada, de conformidad con los análisis generados desde los aforos, y del seguimiento ejecutado por el proyecto.

Dicha actividad se enfoca en el envío de carro-tanques para las zonas con acceso vehicular, supliendo la ausencia del recurso hídrico; es primordial instalar y recargar tanques de almacenamiento, ya sea de manera directa o por medio de tanques ubicados en diferentes tramos donde la inclinación del terreno permita enviarla por gravedad o por bombeo, en aquellas zonas alejadas de carretables. Esta medida se debe implementar durante el lapso que demore la inclusión de una solución definitiva.

#### **Ficha 6 – Adquisición predial:**

##### **COMPRA TOTAL O PARCIAL DE PREDIOS**

Por último y evaluando totalmente las anteriores actividades, se hace factible la gestión de adquisición de los respectivos inmuebles y predios bien sea de forma total o parcial que se afecten por el abatimiento de agua, y donde se corrobore causal directa de desabastecimiento con origen en los túneles del proyecto.

La complejidad de esta ficha, radica en la valoración de los recursos con los que contaba el predio afectado, además de lograr una conciliación con el propietario del inmueble. Por otra parte y más específicamente referente al componente ecosistémico, se plantea la última alternativa de procedimiento evaluando la factibilidad de traslado, para los actores del sistema biótico en otro lugar que cumpla con las iguales o mejores condiciones a las originalmente afectadas.

#### **5.2. Documentación de aforos y actividades, evidenciando las metodologías contextualizadas.**

Esta documentación se origina por la falta de procedimientos acreditados en los laboratorios ambientales del país, siendo una novedosa propuesta metodológica de medición de caudal de acuerdo a las características propias del proyecto construcción Segunda Calzada Bogotá – Villavicencio, tramo el tablón (PR34) - Chirajara (PR63) muy bien adaptada, con el fin de

obtener el menor sesgo posible, de acuerdo a la tipología de acuíferos presentes en el área de influencia del proyecto vial y susceptibles de monitoreo; esto, basado en los procedimientos de medición de los caudales avalados por la normativa Nacional e Internacional vigente validada para Colombia por el IDEAM, donde se presentan las consideraciones, condiciones, variables, parámetros e instrucciones inherentes al proceso de medición de caudal contextualizadas a las características propias de cada fuente hídrica de interés y su entorno. El producto final logra conceptualizarse en esta propuesta estandarizada y confiable de procedimientos y actividades que permiten evidenciar y respaldar las decisiones de tipo ambiental y legal a partir del seguimiento periódico de aforos de caudal.

#### **5.2.1. Alcance y Aplicación**

Este procedimiento entrega las pautas de aforo y seguimiento para los cuerpos hídricos cercanos o en inmediaciones en los túneles en construcción.

Permitiendo la aplicación a todo proyecto de infraestructura que requería dar atención a cuerpos hídricos con probabilidad de abatimiento de agua, en la fase de seguimiento y monitoreo.

#### **5.2.2. Resumen del Método**

El presente procedimiento describe los criterios generales a considerar en el aforo, teniendo en cuenta las condiciones del sitio de medición y presenta las actividades, instrumentos y cálculos necesarios para generar reportes de datos confiables y contextualizados para los cuerpos hídricos de bajo flujo o lenticos.

##### **5.2.2.1. Seguridad del Personal**

El profesional debe considerar las condiciones por pendientes altas, posibles caídas, superficie resbaladiza durante tiempo inclemente (lluvia, escarcha, nieve, etc.), riesgos por accidentes ofídicos, entre muchos factores que se ofrezcan por las características propias de las zonas.

Para otras protecciones del personal refiérase al Manual de Riesgo en el Trabajo de su institución y/o de la Administradora de Riesgo Laboral -ARL- correspondiente.

- Uso de guantes para trabajo liviano (algodón) para protección de plantas urticantes.
- Uso de overol o prendas en tela de jean.

- Uso de gafas.
- Uso de botas de caña alta.

#### 5.2.2.2. Calificaciones del Personal

El personal a cargo debe tener formación técnica y estar capacitado para realizar el proceso de aforo y la práctica suficiente en dicho proceso.

#### 5.2.2.3. Equipamiento

Las herramientas y materiales requeridos para el aforo se listan de acuerdo a los puntos a monitorear, a continuación se mencionan las que se requieren como medidas básicas para la ejecución de la actividad.

- Planilla de chequeo de componentes – herramientas e implementos
- Rotuladores (plumones)
- Planillas de campo
- Cuerdas, líneas de vida, o cuales quiera que sea el método para asegurar en ascensos o descensos peligrosos.
- Cronometro.
- Instrumentos graduados: Balde, jarra, jeringa.
- Flexo-metro
- Regleta o nivel
- Sensor de altura para perforaciones, freatímetro

#### 5.2.2.4. Procedimientos de aforo por el método volumétrico para cuerpos hídricos lenticos

Si el punto ofrece condiciones de reboce o concentración por un solo punto, bien sea por adecuaciones de la comunidad o naturales, es procedente aplicar el método volumétrico, que relaciona el volumen del agua con el tiempo de llenado.

### Fotografías 1 Afloramientos con aplicación del método volumétrico



**Fuente:** Buitrago. 2014

### Cálculos para el método volumétrico:

Calcular el caudal con la siguiente fórmula

$$Q: V/t$$

Donde Q: Caudal

Donde V: Volumen aforado

Donde t: tiempo de llenado.

**Actividades:** Para iniciar con la medición, se ubica el instrumento aforado, de tal forma que reciba todo o gran parte del flujo de agua de la fuente hídrica, al mismo tiempo que se activa el cronómetro

Se retira instrumento aforado, y pausa el cronómetro al mismo tiempo, antes de que supere las capacidades del recipiente, o hasta lograr un valor de volumen de lectura.

**Recomendaciones:** es importante repetirlo en tres oportunidades, lo anterior con el fin de calcular el caudal con la menor desviación de los datos posible, por último, las unidades se relacionan generalmente, para establecer la cantidad de agua para 1 segundo.

#### 5.2.2.5. Procedimientos de aforo por el método volumétrico invertido para cuerpos hídricos lenticos y/o bajo flujo

Si el punto no ofrece condiciones de reboce o concentración por un solo punto, bien sea por sus condiciones de almacenamiento irregular, es procedente aplicar el método volumétrico invertido, que relaciona el volumen del agua extraída con el tiempo de recuperación.

#### Fotografías 2 Afloramientos con aplicación del método volumétrico invertido



**Fuente:** Buitrago. 2015

#### Cálculos para el método volumétrico invertido:

Calcular el caudal con la siguiente fórmula

$$Q: V/t$$

Donde Q: Caudal

Donde V: Volumen extraído

Donde t: tiempo de recuperación al nivel inicial del agua.

**Actividades:** Para iniciar con la medición se ubica una señal de nivel o regleta en un espacio dentro del cuerpo de agua, que no impida la toma de una alícuota, se registra el valor de la altura del agua que demarque la regleta. Posteriormente, con la regleta aun sumergida, se procede a

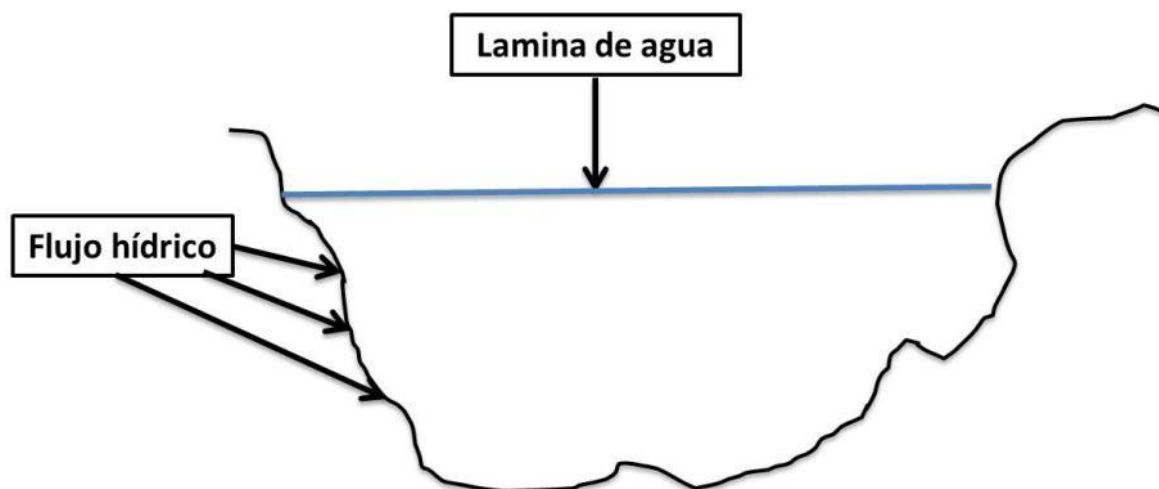
sacar un volumen de agua correspondiente a un volumen de lectura de la fuente hídrica, hasta que el nivel de la lámina de agua descienda, al mismo tiempo que se activa un cronómetro.

Finalmente, se determina el volumen total extraído de la fuente hídrica con el instrumento aforado, balde, jarra, probeta, jeringa y se registra el tiempo que tarda la fuente hídrica en recuperar el volumen extraído hasta lograr nuevamente señal de nivel o altura de regleta.

**Recomendaciones:** es importante repetirlo en tres oportunidades, lo anterior con el fin de calcular el caudal con la menor desviación de los datos posible. Igualmente, es necesario valorar el flujo del cuerpo hídrico, para que las mediciones no tarden mucho tiempo de recuperación; por último, se puede sumergir contenedores o vasijas dentro del punto para mejorar las condiciones de concentración y facilitar la lectura de nivel.

A continuación se plasman figuras que representan el procedimiento mencionado:

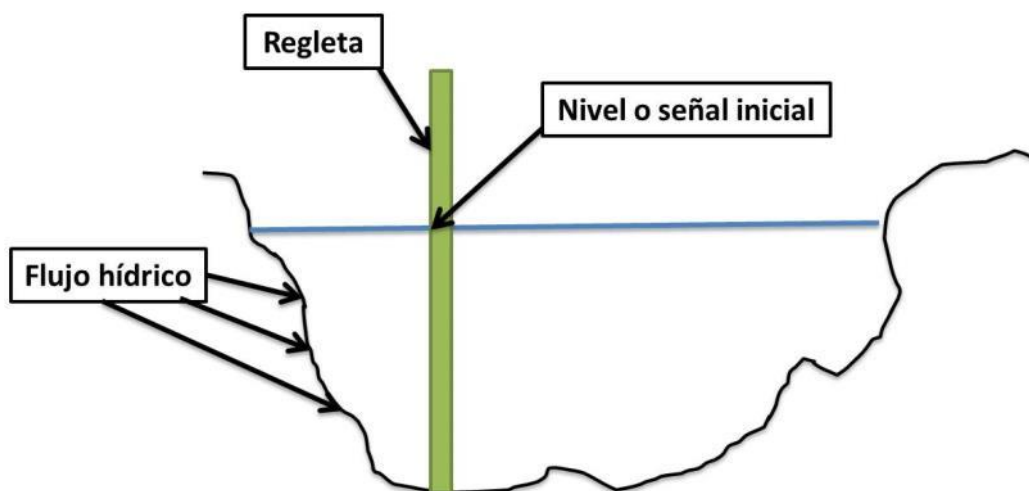
**Ilustración 1: Paso 1.1**



Fuente: Buitrago. 2016

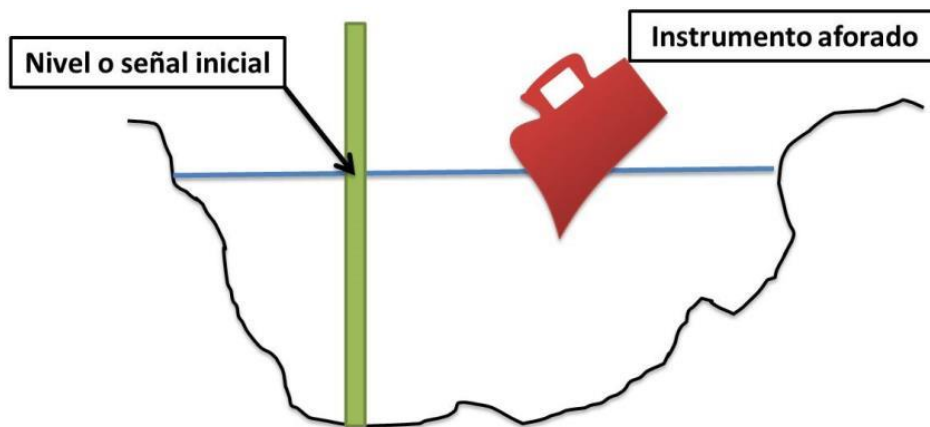


Ilustración 2: Paso 1.2



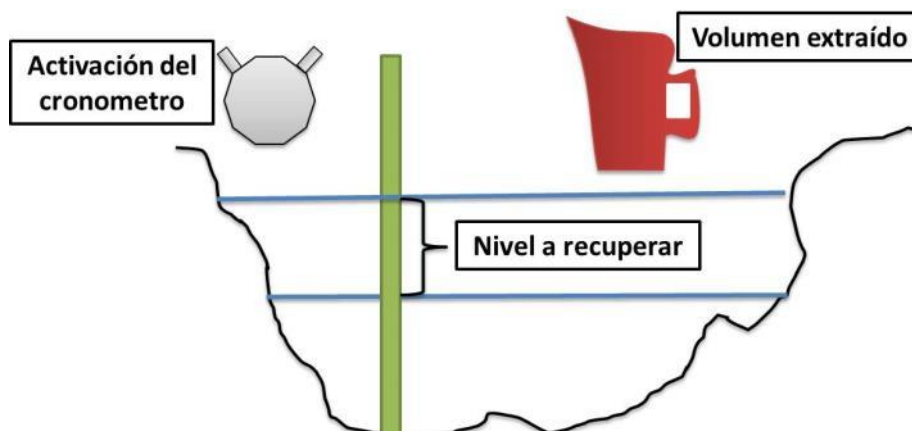
Fuente: Buitrago. 2016

Ilustración 3: Paso 1.3



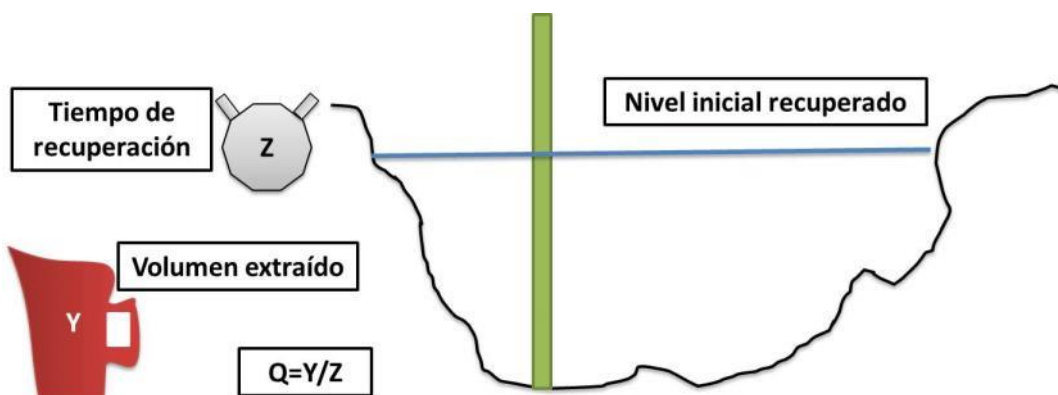
Fuente: Buitrago. 2016

Ilustración 4: Paso 1.4



Fuente: Buitrago. 2016

Ilustración 5: Paso 1.5



Fuente: Buitrago. 2016

#### 5.2.2.6.Procedimientos de aforo por el método volumétrico invertido para perforaciones – freatímetro, piezómetros

Dadas las condiciones de las perforaciones y la tubería que generalmente las compone, es procedente aplicar el método volumétrico invertido, que relaciona el volumen del agua extraída con el tiempo de recuperación.

#### **Cálculos para el método volumétrico invertido para perforaciones – freatímetro, piezómetros:**

Calcular el caudal con la siguiente fórmula

$$Q: V/t$$

Donde Q: Caudal

Donde V: Volumen extraído

Donde t: tiempo de recuperación al nivel inicial del agua.

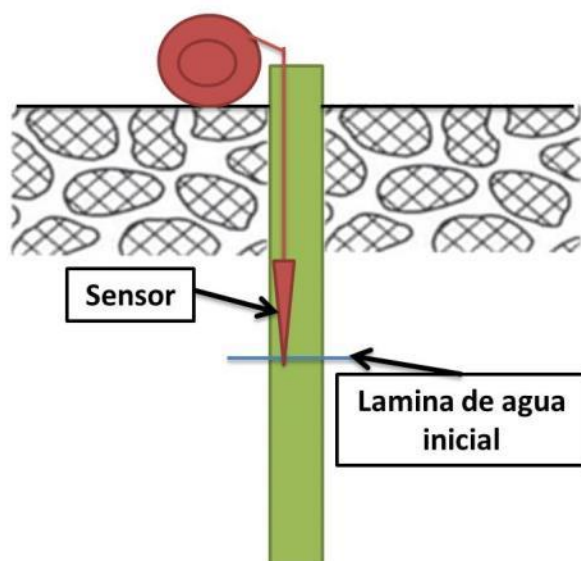
**Actividades:** Para iniciar con la medición se incorpora un sensor de agua (por sonido o alarma), se registra el valor de la altura del agua que determine el instrumento. Posteriormente, sin mover el sensor, se procede a sacar un volumen de agua, hasta que el nivel de la lámina de agua descienda, al mismo tiempo que se activa un cronómetro.

Finalmente, se mide el volumen total extraído de la perforación con el recipiente aforado, y se determina el tiempo que tarda la perforación en recuperar el volumen extraído hasta lograr nuevamente señal de nivel o altura inicial.

**Recomendaciones:** es importante repetirlo en tres oportunidades, lo anterior con el fin de calcular el caudal con la menor desviación de los datos posible. Igualmente, es necesario valorar el flujo de la perforación, para que las mediciones no tarden mucho tiempo de recuperación.

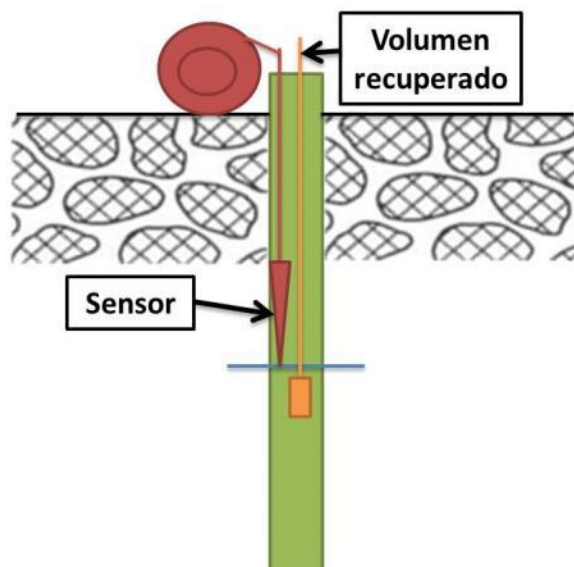
A continuación se plasman figuras que representan el procedimiento mencionado:

**Ilustración 6: Paso 2.1**



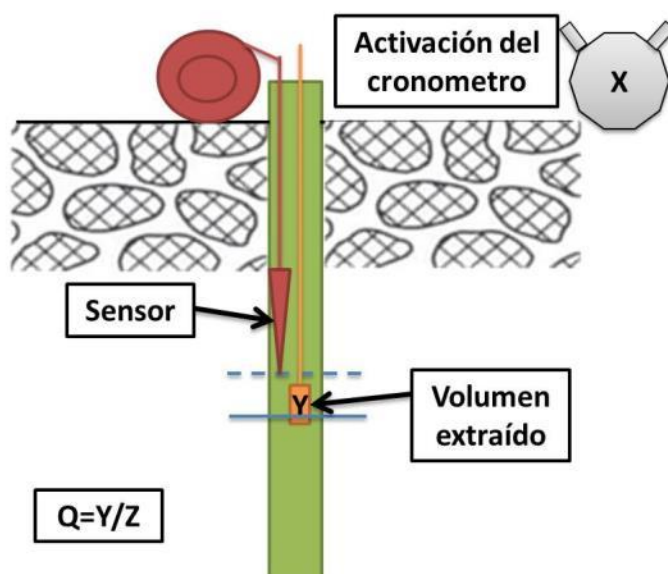
Fuente: Buitrago. 2016

Ilustración 7: Paso 2.2



Fuente: Buitrago. 2016

Ilustración 8: Paso 3.3



Fuente: Buitrago. 2016

#### 5.2.2.7.Procedimientos de aforo por el método másico, de para cuerpos hídricos lenticos y/o bajo flujo, sin posibilidad de almacenar o confinar

Dadas las condiciones de los cuerpos hídricos sin posibilidad de almacenar o confinar, es procedente aplicar el método másico, que relaciona el peso del agua extraída con el tiempo de recuperación.

#### **Cálculos para el método másico:**

Calcular el caudal con la siguiente fórmula

$$Q: \frac{\left( \frac{(m1 - m2)}{p} \right)}{t}$$

Donde Q: Caudal

Donde m1: Peso de la muestra

Donde m2: Peso de agente absorbente seco

$p$  = Densidad del líquido

Donde t: tiempo de absorción

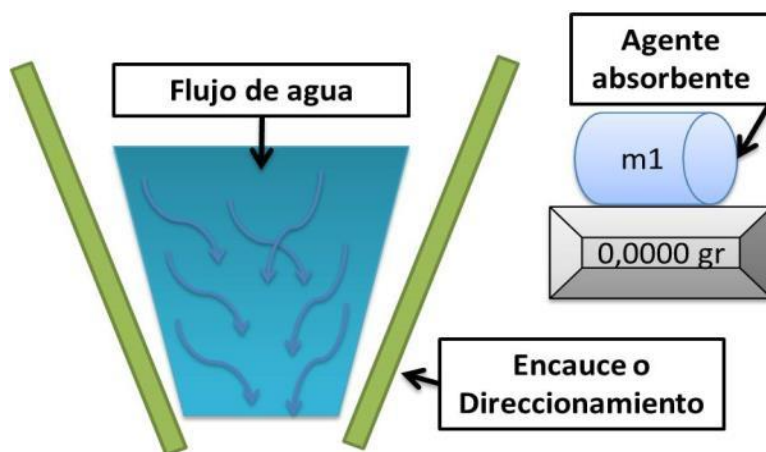
**Actividades:** Para iniciar con la medición es necesario pesar en seco el agente absorbente (m1), posteriormente el flujo agua debe pasar en la totalidad o mayor parte por dicho agente, al mismo tiempo que se activa un cronómetro. Seguido se pesa la muestra recuperada (m2) y con ayuda de un picnómetro se halla la densidad.

Finalmente, se resta el peso del agente absorbente a la muestra recuperada, y se le divide la densidad hallada con el picnómetro. Finalmente, se divide en el tiempo medido; para realizar repeticiones del aforo, es necesario pesar nuevamente el agente adsorbente deshidratado.

**Recomendaciones:** es importante repetirlo en la medida de lo posible, lo anterior por el tipo de agente utilizado y la eficiencia en el reuso.

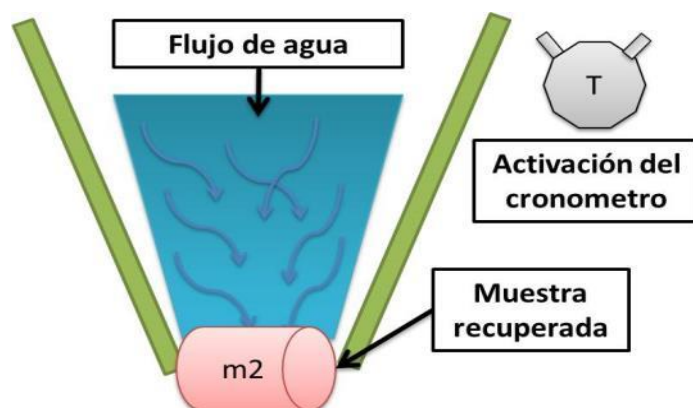
A continuación se plasman figuras que representan el procedimiento mencionado:

#### **Ilustración 9: Paso 3.1**



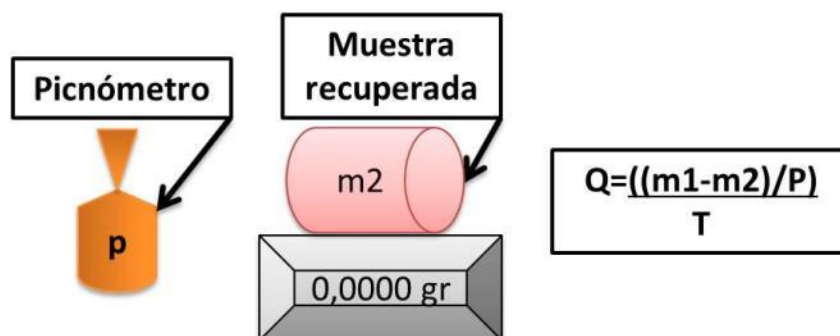
Fuente: Buitrago. 2016

Ilustración 10: Paso 3.1



Fuente: Buitrago. 2016

Ilustración 11: Paso 3.1



Fuente: Buitrago. 2016

### 5.3. Exploración de alternativas para atención en abatimiento de agua, en los túneles medianos y cortos.

El desarrollo del este ítem, radica en explorar soluciones con el propósito de aprovechar las condiciones que circundan el área de influencia de los túneles con abatimiento de agua, posibilitando la solución a los ecosistemas y comunidad afectada.

#### 5.3.1. Perforaciones como alternativa de atención

La alternativa que se expone a continuación, centra los esfuerzos en captar los flujos hídricos en la unidad montañosa aprovechando las presiones generadas en las fronteras de los túneles, es decir en el agua que se enfrenta en la estabilización de la excavación. El principio técnico de estos procedimientos concibe la idea operativa de los drenajes de penetración, sin embargo es de total análisis del terreno, distancia, profundidad, geología, tipo de perforación, condiciones de buzamientos, entre muchas más variables establecer cuál de las alternativas lograrán mitigar u ofrecer mejor atención al evento de abatimiento de agua.

##### 5.3.1.1. Perforaciones internas

Este tipo de perforaciones intenta restablecer el flujo hídrico que se alteró con la construcción del túnel. Las condiciones para viabilidad radican en la dirección del flujo y el buzamiento que presente la unidad montañosa, también representado en las siguientes figuras:

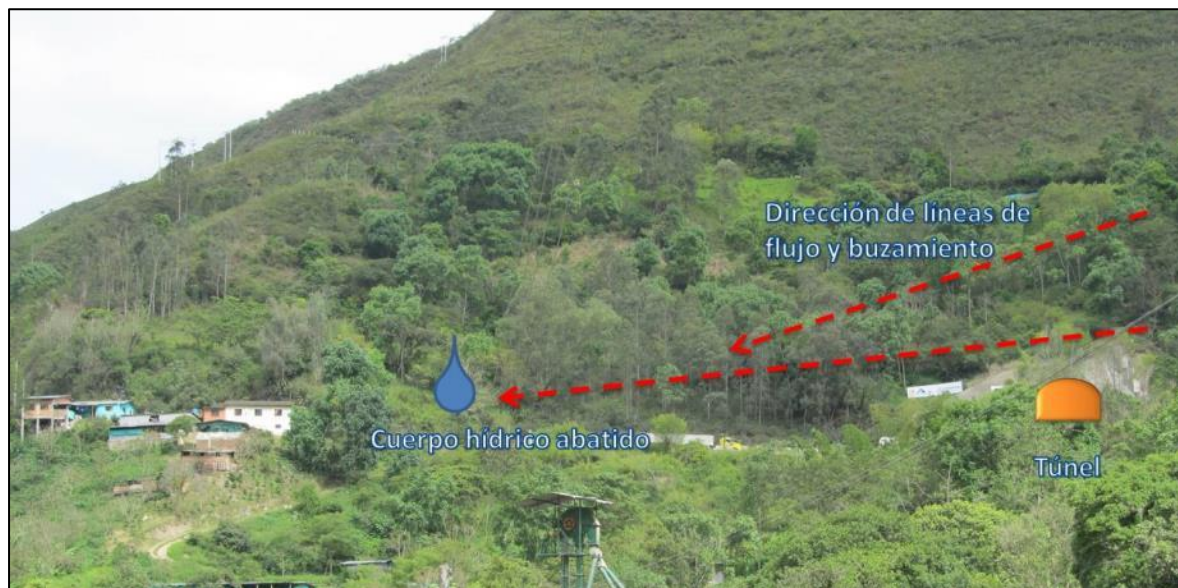
**Ilustración 12. Perforación interna**





**Fuente:** Buitrago. 2015

**Ilustración 13. Cobertura y portal**



**Fuente:** Buitrago. 2015

#### 5.3.1.2. Perforaciones paralelas en horizontal

Este tipo de perforaciones intenta captar el flujo hídrico aguas arriba del eje geométrico del túnel. Las condiciones para viabilidad radican en la dirección del flujo, pendiente de la perforación y acumulación de agua que presente la unidad montañosa, representado en la siguiente figura:

**Ilustración 14. Perforaciones paralelas en horizontal**





**Fuente:** Buitrago. 2015

#### 5.3.1.3. Perforaciones perpendiculares en vertical

Finalmente, estas perforaciones resuelven el abastecimiento mediante el componente de sustitución, puesto que la estructura funcionara como pozo profundo, con la aproximación más certera para la ubicación de los reservorios hídricos y su permanecía en el tiempo, dicha actividad está representado en la siguiente figura:

**Ilustración 15. Perforaciones perpendiculares en vertical**



**Fuente:** Buitrago. 2015

#### 5.3.2. Acueductos veredales y municipales como alternativa de atención

Esta alternativa otorga apoyo a los acueductos nuevos y/o constituidos con potencial de expansión, para alcanzar las zonas afectadas por abatimiento y así entregar un suministro constante a los afectados. Paralelamente, esta situación ofrece un gran beneficio social, puesto que mejora la calidad de vida a la comunidad cercana, con entrega de recursos directos para optimizar su infraestructura y ofrecer mejor servicio a los usuarios.

En forma general, se analizan tres ítems básicos para establecer un panorama general del estado socio-ambiental del acueducto, los cuales corresponden a: evaluación de la fuente abastecedora, población y zona a cubrir e infraestructura de distribución.

También, es importante establecer convenios claros para lograr los resultados esperados, teniendo en cuenta dos escenarios posibles: el primero corresponde a un acueducto nuevo, que exige inversiones considerables, además del tiempo de espera y gran variedad de documentos para solicitar concesiones de agua en la corporación autónoma correspondiente.

El segundo escenario, permite ampliar un acueducto ya constituido, bien sea cercano o con potencial de expansión para lograr el suministro a los afectados, sin embargo este caso exige una investigación minuciosa puesto que es necesario esclarecer la titularidad de la concesión de agua, tiempo otorgado, pagos por uso, pasivos o actuaciones de las autoridades frente al acueducto, además del estado de la infraestructura y la receptividad de la comunidad ante la institución.

En general, es necesario revisar los siguientes aspectos para otorgar un correcto manejo a la alternativa:

- Fuente abastecedora: A través de seguimiento por batimetrías, aforos para estimar comportamiento en épocas de estiaje, igualmente, es necesario evaluar el estado de la cuenca y ronda hídrica, además otras captaciones y la demanda de agua que soporta.
- Los actuales beneficiarios y proyección de los nuevos: Otro aspecto a valorar con importante influencia, corresponde a la cantidad de beneficiarios puesto que es necesario proyectar el crecimiento y además el consumo de la nueva población para abastecer.
- La infraestructura del acueducto y potencial suministro: un panorama muy aproximado de este componente establecerá los costos que conllevará la ejecución del convenio. Es decir, diseños potenciales y redes actuales que establecerán la dimensión de la inversión.
- Tiempo de titularidad: este ítem refiere el periodo que permite la autoridad, el beneficio de la concesión, razón por la cual es obligatorio estimar el tiempo otorgado contra la inversión proyectada, estimando un balance positivo entre el monto y el tiempo de permiso.

### 5.3.3. Sustitución por puntos desafectados como alternativa de atención

Los puntos desafectados, corresponden a cuerpos hídricos localizados en predios adquiridos para la ejecución del proyecto, que manifiestan afloramientos de agua considerable que no se afectan por las obras de civiles. Esta alternativa es de mayor importancia a medida que las anteriores presentan poca viabilidad, puesto que el abastecimiento a los ecosistemas y población afectada es de urgente atención, más aun cuando se cuenta con la posibilidad de abastecer agua desde predios cercanos, con titularidad en el proyecto o con permisos en inmuebles privados.

Si bien las políticas de muchos proyectos es adquirir sin servidumbres, es necesario validar la información de aquellos lugares donde permita atender la situación, con recursos de la misma zona; claramente se debe mantener un estricto seguimiento al tratamiento previo y destino del recurso hídrico.

De igual manera, la gestión social es de vital importancia para lograr los vínculos y/o acuerdos con los propietarios, cuando los puntos hídricos se encuentren en predios privados. De forma general, esta alternativa se esclarece con el inventario puesto que los puntos con viabilidad de suministro se localizan y verifican, con sus respectivas distancias, con el fin proyectar costos de suministro e infraestructura necesaria.

### 5.3.4. Concesión de agua subterránea como alternativa de atención

Finalmente, se plantea la última alternativa, durante y al término de la construcción de los túneles, con el manejo de las aguas de infiltración canalizadas y conducidas a partir de sistemas provisionales y definitivos como la impermeabilización e instalación de colectores filtrantes. Si bien es necesario que los túneles técnicamente cuenten con estructuras para captar, conducir y evacuar el agua de forma permanente y constante, para aliviar las presiones generadas en las fronteras; dicha situación ofrece de una alternativa de atención que distinguen en dos situaciones:

1ra situación: Como atención inmediata al evento de abatimiento, es procedente evaluar la disponibilidad, caudal y calidad de agua que se manifiestan al interior del túnel, con un balance

positivo y la posibilidad de entregar las aguas de infiltración (garantizando su inocuidad) como abastecimiento bien sea a los ecosistemas y/o comunidad afectada.

Dicha situación exige estructuras provisionales, ya que es estos sistemas son ajustados y reubicados conforme se avanza la excavación y afloraron nuevos puntos de agua.

### **Fotografías 3 Sistemas de captación y conducción de aguas de infiltración**



**Fuente:** Buitrago. 2014

2da situación: Al término de la construcción del túnel, con toda instalación de la fase para impermeabilización y colectores filtrantes, se estima con mayor precisión la disponibilidad de agua que genera la cavidad; razón por la cual se proyectarían las estructuras necesarias para almacenar y conducir el fluido para los ecosistemas y comunidad afectada. Suministrando de manera permanente, a excepción de los tiempo de mantenimiento y retro-lavado del túnel y tuberías.

## 6. CONCLUSIONES

Sin duda alguna, el favorecimiento gerencial en los proyectos y empresas es la base de protección de los recursos naturales y oportunidades reales de la gestión ambiental para funcionar eficientemente en las compañías. Los resultados obtenidos en el documento obedecen al apoyo corporativo incondicional al grupo de auditoría ambiental en el proyecto Segunda Calzada Bogotá – Villavicencio, Tablón - Chirajara.

Dentro de los planteamientos del manual, se desarrolla una posible herramienta para las decisiones que afectan microcuencas y/o alternativas de control, prevención y seguimiento, en los eventos de abatimiento de agua por construcción de túneles medianos y pequeños. Es importante resaltar que se planteó un robusto plan de seguimiento y monitoreo, aplicando metodologías contextualizadas a las condiciones como apoyo en las actividades anteriores y paralelas a la excavación, con el objeto de estimar los posibles cambios que se pudiesen presentar en la zona de estudio.

Uno de los aportes más importantes del documento, está en las alternativas de atención, otorgando variables y factores aceptables para el área técnica; el estudio y aplicación en otras áreas, debe incorporar componentes como calidad de agua, modelos hidrogeológicos y distribución ecosistémica y de comunidades.

De otra parte, el manual no intenta plasmar las limitaciones metodológicas, conceptuales, de muestreos, campo, etc. Sin embargo, es pilar del documento el enfoque de procedimientos y atención, menos normativo y más descriptivo. Razón por la cual aplicación se explora desde estudios puntuales y anteriores de la zona, idóneos para ajustar las actividades y acciones de atención ambiental para eventos de abatimiento de agua.

También, el manual presenta características de aplicación a los demás proyectos de infraestructura, abriendo la posibilidad al análisis y aporte al desarrollo económico para la región afectada desde el ámbito ambiental y social. A demás se concluye, la posibilidad de aplicar instrumentos como los sistemas de información geográfica y modelación para identificar zonas

vulnerables, posibles mejoras, claramente con la adaptación que requieren para mejorar los proyectos y lograr la protección del recurso.

Actualmente, se crean infinidad de herramientas tecnológicas, sistémicas entre otras, ofreciendo la posibilidad de incorporación en proyectos el manejo y seguimiento ambiental; sin embargo, es necesario documentar las experiencias de cada obra civil para entregar a las generaciones futuras de profesionales, los procedimientos y estudios generados para lograr una real protección al ambiente.

Atraves de la documentación de la experiencia del proyecto Segunda Calzada Bogotá-Villavicencio – tercio medio, se logró apropiar información de primera mano, más que necesaria sobre los procesos de atención ambiental, si bien es muy extensa para dar un a conocer todas las características e interacciones generadas, es un excelente manual para entender la complejidad del abatimiento por la excavación de túneles.

Finalmente se exalta la falta de protocolos de la autoridad ambiental, como guía para toma de decisiones, con el fin de lograr recuperación, protección, análisis y diseño en nuevos proyectos, en función de los recursos naturales, para lograr una concientización sobre que manejo se le da a procesos antropogénicos, ya que la sociedad actual se empecina en agotar indiscriminadamente con el futuro y soporte vital del planeta.

## **7. DOCUMENTOS DE REFERENCIA.**

- ❖ Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas del IDEAM.
- ❖ Decreto 1600 de 1994 Por el cual se reglamenta parcialmente el sistema Nacional Ambiental SINA.
- ❖ Guía de Prácticas Hidrológicas Organización Metrológica Mundial OMM

## 8. GLOSARIO

A continuación se hace una recopilación de las definiciones contempladas en la legislación Colombiana y otras normas aplicables al tema:

- 10.1. **AFLORAMIENTO:** punto de brote de agua de bajo flujo o cuerpo hídrico de carácter lentico, que se manifiesta en la cobertura de las unidades montañosas.
- 10.2. **ACUÍFERO:** Capa o zona de un terreno que retiene, almacena o transmite agua, existe varios tipos: los acuíferos libres, confinados, semi-confinados, etc.
- 10.3. **AGUA SUB SUPERFICIAL:** Es aquella que se encuentra por debajo de la superficie del suelo, pero justo por encima del nivel freático, corresponde al agua higroscópica y capilar.
- 10.4. **AGUA SUBTERRÁNEA:** Agua que se almacena bajo la superficie sólida de la tierra, ocupando el espacio comprendido entre el nivel freático y la base del acuífero.
- 10.5. **AGUA SUPERFICIAL:** Es aquella que se encuentra por encima de la superficie del suelo, puede generarse por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas sub-superficiales y subterráneas.
- 10.6. **IDEAM:** Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales.
- 10.7. **AFORO:** Cálculo que se hace de la cantidad de agua, líquido o gas que circula por una corriente tubería o de la capacidad de un recipiente.
- 10.8. **CAUDAL:** Volumen de agua que pasa por unidad de tiempo a través de una sección dada de una corriente o conducción.

- 10.9. VERTEDERO: Es una estructura hidráulica destinada a permitir el pase, libre o controlado, del agua en los escurrimientos superficiales o industriales.
- 10.10. AFORAR: Procedimiento para medir un caudal.
- 10.11. CANALETA PARSHALL: Canal aforador que tiene una sección de entrada convergente con un nivel mínimo, una sección mínima de paso corta con un fondo inclinado hacia abajo en un gradiente diseñado y reglilla de lectura.
- 10.12. CUERPO HÍDRICO LENTICO O FLUJO BAJO: Corresponde a un flujo de agua, con caudal continuo de bajo volumen, que fluye por un sustrato de alguna permeabilidad, o punto de convergencia de líneas hídricas en una unidad geológica.
- 10.13. PERFORACIÓN: Actividad de retirar un perfil del suelo, para estratificar o controlar el nivel freático de la zona de estudio.
- 10.14. FREATÍMETRO: Son perforaciones de diámetro variable hechas para el control de la altura y/o la toma de muestras para el análisis de la primer napa de agua (freática).
- 10.15. MANANTIAL: Es afloramiento de agua subterránea, en la cual el nivel piezométrico (límite de la zona saturada) del acuífero corta la superficie terrestre, dando lugar a la descarga de un caudal importante del agua del acuífero hacia cotas inferiores. Es por lo tanto un punto en el que el agua subterránea del acuífero sale a la superficie y pasa a formar parte de la esorrentía superficial. (Herrera 2015)
- 10.16. ALJIBE: cuerpo de agua lentico, el cual se forma principalmente por acumulación de la precipitación, que presenta cubierta y protección.



10.17. JAGÜEY: cuerpo de agua léntico, el cual se forma principalmente por acumulación de la precipitación. (Herrera 2015), sin protección o cubierta.

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. Proyecto Vial Segunda Calzada Bogotá – Villavicencio. Coviandes S.A, Diciembre de 2014, Unión Temporal Conambiente – Medio Natural. Estudio de caracterización de las condiciones hidrológicas y el uso del agua - Unidad Montañosa Intervenida con la Construcción del Túnel 6A del Sector 2A.
2. Villavicencio, B., Edl, C., Cej, L., Enrique, S. A., & Lozano, D. (2007). Diseños detallados (fase III) para el mejoramiento de los Sectores: El tablón-Puente Téllez, Puente Quetame, Quebrada Naranjal-Quebrada Blanca y Guayabetal, de la carretera Bogotá-Villavicencio. (C. E. D. L. Ltda, Ed.). BOGOTÁ D.C: Septiembre 2007.
3. CAMACHO, Sindy Lorena. Identificación, Evaluación y Medidas de Manejo para los impactos ambientales generados sobre el recurso hídrico subterráneo por la construcción de túneles. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia, 2013
4. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES-ANLA. Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos que requieren licencia ambiental. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Colombia, 2013.
5. HERRERA, Rafael. Informe Consolidado de la aguas subterráneas, subsuperficiales y Superficiales, asociado a las obras de excavación de los túneles 1, 2, 3, 3A, 4 y 5 Sectores 1, 1A y 2. UT Medio Natural S.A.S.-CONAMBIENTE S.A.S. Colombia, 2015.
6. CANTER .L. 1998. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental, capítulo 6 . Mc Graw Hill.
7. Ambiente, M. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de en ejercicio de las facultades extraordinarias conferidas por la Ley 23 de 1973 y previa participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social. (1974). Colombia.
8. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. Resolución 0078 del 29 de enero de 2014 (Modificación 1A y 2), Pub. L. No. 0078 (2014). Colombia.

9. Dian. Resolución número 000139 (nov. 21 de 2012 ), Pub. L. No. 000139 (2012). Colombia.
10. Ideam. (2005, December). Atlas climatológico de Colombia, p. 217. Colombia.
11. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras: José Benito Vives de Andréis. (2014). MARINOS Y COSTEROS EN COLOMBIA AÑO 2013. Santa Martha- Colombia.
12. León, D. (2007). Plan de contingencia para el archivo de la universidad de la salle como parte de la implantación del sistema integrado de conservación. Universidad de la Salle. Recuperado de:  
<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/12680/33021222.pdf?sequence=2>
13. Men, C. D. L. R. D. C. Ley 115 febrero 8 de 1994, Ediciones Populares 50 (1994). Colombia. Recuperado de:  
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Ley+115+de+Febrero+8+de+1994#0>
14. Ministerio de Ambiente. (2010). Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales. (Viceministerio de Ambiente, Ed.) (Vol. 8). 2010.
15. Ministerio de Desarrollo Economico. Resolución 1096 Del 2000, Pub. L. No. 1096 de 2000 (2000). Colombia.
16. Ministerio De La Protección Social. Decreto 1575 de 2007: Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, 2007 Diario Oficial 1–14 (2007). Recuperado de: file:///C:/Users/Estacion 6/Downloads/n16Dmps1575.htm
17. Ministro Del Interior, & Presidente De La República De Colombia. Decreto 93 de 1998 (enero 13) (1998).
18. Municipal, C. ACUERDO No. 001 DE 2012. ( ) “ (2015). Colombia.
19. Nacional, A., Ani, D. E. I., & Sa, C. Auto 2012 / 2014 (2014). Colombia.
20. Real Academia Española. (2014). Diccionario de la Lengua Española (Vigesimote).
21. República de Colombia. Constitución Política de la República de Colombia de 1991 (1991). Colombia.
22. Se, D. Y., & Otras, D. Ley N° 1523 (2012). Colombia.
23. Vial, C. (2009a). Plan de Manejo Ambiental. In Estudio de Impacto Ambiental (pp. 1613–1616).

24. Vial, C. (2009b). Zonificación de Manejo Ambiental. In Estudio de Impacto Ambiental (Vol. Capitulo 6, p. 6).
25. Western, S. & Van. (1996). Slope Instability Recognition, Analysis, And Zonation. In Landslides TRB Special report 247 1996.pdf (p. 49).